



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

MĚŘENÍ NEROVNOSTÍ POVRCHŮ VOZOVEK

MEASUREMENT OF PAVEMENT SURFACE ROUGHNESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Samuel Ďuriš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LADISLAV BÁRTA, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Samuel Ďuriš
Název	Měření nerovností povrchů vozovek
Vedoucí práce	Ing. Ladislav Bárta, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.

Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.

Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] ČSN 73 0212-1 Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 1: Základní ustanovení. ČSN, Český normalizační institut, Praha, 1996, 8 stran.
- [2] ČSN 73 0212-4 Geometrická přesnost ve výstavbě, Kontrola přesnosti, Část 4: Liniové stavební objekty. ČSN, Český normalizační institut, Praha, 1994, 14 stran.
- [3] ČSN 73 0405 – Měření posunů stavebních objektů. ČSN, Český normalizační institut, Praha, 1997.
- [4] ČSN 73 6175 - Měření a hodnocení nerovnosti povrchů vozovek. ČSN, Český normalizační institut, Praha, 2015, 32 stran.
- [5] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, Kapitola 6 Cementobetonový kryt. TKP, Ministerstvo dopravy, Odbor pozemních komunikací, Praha, 2015, 36 stran.
- [6] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, Kapitola 7 Hutněné asfaltové vrstvy. TKP, Pragoprojekt, a. s., Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury, Praha, 2008, 28 stran.
- [7] TP 62 – Katalog poruch vozovek s cementobetonovým krytem. Technické podmínky, Ministerstvo dopravy, Odbor silniční infrastruktury, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Brno, 2010, 15 stran + přílohy.
- [8] TP 82 – Katalog poruch netuhých vozovek. Technické podmínky, Ministerstvo dopravy, Odbor silniční infrastruktury, PavEx Consulting, s.r.o., Brno, 2010, 30 stran + přílohy.
- [9] TP 87 – Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek. Technické podmínky, Ministerstvo dopravy, Odbor silniční infrastruktury, VUT v Brně, Brno, 2010, 103 stran.
- [10] TP 92 – Navrhování údržby a oprav vozovek s cementobetonovým krytem. Technické podmínky, Ministerstvo dopravy, Odbor silniční infrastruktury, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Brno, 2010, 32 stran + přílohy.
- [11] TP 207 - Experiment přesnosti zařízení pro měření povrchových vlastností a dalších parametrů vozovek pozemních komunikací. Technické podmínky, Nekula, L., Vodička, J., Stryk, J., Matula, R., Vojtíšek, A., Ministerstvo dopravy, 2017, 37 stran.

ZÁŠADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na určeném úseku pozemní komunikace diplomant vybuduje zkušební základu pro testování přesnosti měřících systémů za účelem ověření jejich využitelnosti pro určování podélných a příčných nerovností povrchů vozovek. Předmětem testování bude absolutní a relativní přesnost výškového měření, přesnost určení nerovnosti latí délky 2 a 4 m a přesnosti určení podélné nerovnosti vyjádřené indexem IRI.

Referenční technologií bude přesná nivelace. Ověřována bude přesnost statického skenovacího systému, přesnost multistanice, přesnost totální stanice a dále přesnost alespoň jedné standardní technologie uvedené v ČSN 73 6175.

Zkušební povrch bude tvořen přesným bodovým polem, podélným profilem délky alespoň 200 m s body po 25 cm a skupinou příčných profilů s body po 10 cm. Polohová přesnost bodového pole bude daná střední souřadnicovou chybou m_{xy}

Diplomant nastuduje danou problematiku včetně uživatelských manuálů přístrojů a zpracovatelských softwarů, navrhne technologické postupy měření a zpracování, provede kontroly měřících systémů a nanečisto uskuteční pořízení vzorků dat, na kterých prověří zpracovatelskou linku až na úroveň seznamu souřadnic nebo mračen bodů. Následně přistoupí k měření zkušebního povrchu.

Vyhodnocení testovaných parametrů bude provedeno na profilech za využití softwaru ATLAS DMT. Provedené experimenty budou v textu práce vhodně popsány a interpretovány. Grafická prezentace výsledků bude provedena v grafech (ose x bude představovat staničení profilu a osa y bude představovat skutečnou chybu zjišťovaného parametru).

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Ladislav Bárta, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Predmetom diplomovej práce je overenie využiteľnosti geodetických metód pri určovaní pozdĺžnych a priečnych nerovností povrchu vozovky. Geodetické technológie sú porovnávané s technológiami z ČSN 73 6175. Predmetom testovania je absolútna a relatívna presnosť výškového merania a presnosť určenia parametrov nerovností. Výsledkom práce je grafická interpretácia týchto parametrov a odchýlok od referenčných hodnôt. Na základe práce s jednotlivými technológiami a výsledkov analýzy presnosti je vyhodnotená využiteľnosť geodetických metód v praxi.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nerovnosť povrchu vozovky, pozdĺžny profil, priečny profil, geodetické metódy, laserové skenovanie, medzinárodný index nerovnosti, nerovnosť pod latou

ABSTRACT

The subject of the master thesis is to verify the possibility of application of geodetic methods to determine longitudinal and transverse pavement surface roughnesses. Geodetic techniques are compared to techniques specified in ČSN 73 6175. Subject of testing is absolute and relative accuracy of altitude measurement and accuracy of roughness parameter determination. As a result, the graphic interpretation of these parameters and deviations from reference values are presented in the current document. Practical use of the surveying methods is evaluated based on the application of the above mentioned techniques and the results of accuracy analysis.

KEYWORDS

Pavement surface roughness, longitudinal profile, cross section, geodetic methods, laser scanning, international roughness index, roughness under the rod

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Samuel Ďuriš *Měření nerovností povrchů vozovek*. Brno, 2020. 84 s., 40 s. příl.

Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie.

Vedoucí práce Ing. Ladislav Bárta, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Měření nerovností povrchů vozovek* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22. 5. 2020

Bc. Samuel Ďuriš

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Měření nerovností povrchů vozovek* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2020

Bc. Samuel Ďuriš

autor práce

POĎAKOVANIE

Touto cestou by som chcel poďakovať vedúcemu práce Ing. Ladislavovi Bártovi PhD. za cenné rady, pomoc a v neposlednom rade za trpezlivosť pri tvorbe tejto diplomovej práce. Ďalej by som chcel poďakovať pracovníkom výskumného centra Admas, za poskytnutie prístrojov na zameranie a priestorom na prácu. V neposlední rade moja vďaka patrí predstaviteľom firmy Atlas ltd. za poskytnutie dočasnej licencie k ich programu Atlas DMT.

V Brně dne 22. 5. 2020

Samuel Ďuriš
autor práce

Obsah

1	ÚVOD.....	12
2	NEROVNOSTI POVRCHU VOZOVIEK.....	14
2.1	Definície.....	14
2.2	Parametre nerovností.....	15
2.2.1	Parametre pozdĺžnej nerovnosti.....	16
2.2.2	Parametre priečnej nerovnosti	17
2.3	Metódy zamerania.....	19
2.3.1	Zásady merania	20
2.3.2	Klasické metódy	21
2.3.2.1	Presná nivelácia	21
2.3.2.2	Meračské lata s klinom (cestná lata)	21
2.3.2.3	Planograf.....	23
2.3.3	Moderné metódy	25
2.3.3.1	Profilomer Dipstick	25
2.3.3.2	Profilomer s dvojmotovým odozvovým systémom.....	26
2.3.3.3	Multifunkčné vozidlo so snímačom zvislého zrýchlenia	27
2.3.3.4	Profilograph GE.....	27
2.3.4	Alternatívne metódy	28
2.3.4.1	Priestorová polárna metóda totálnou stanicou.....	29
2.3.4.2	Terestrické laserové skenovanie	30
2.3.4.3	Multistanica	31
2.3.4.4	Mobilné laserové skenovanie	32
3	ZAMERANIE PROFILOV	33
3.1	Lokalita	33
3.1.1	Bodové pole a jeho výškové overenie	35
3.2	Použité metódy.....	36

3.2.1	Presná nivelácia	36
3.2.1.1	Prístroj	36
3.2.1.2	Postup	37
3.2.1.3	Výsledky	39
3.2.2	Profilomer	40
3.2.2.1	Prístroj	40
3.2.2.2	Postup	41
3.2.2.3	Výsledky	42
3.2.3	Cestná lata	44
3.2.3.1	Prístroj	44
3.2.3.2	Postup	44
3.2.3.3	Výsledky	45
3.2.4	Priestorová polárna metóda totálnou stanicou	46
3.2.4.1	Prístroj	46
3.2.4.2	Postup	47
3.2.4.3	Výsledky	48
3.2.5	Statický skener	50
3.2.5.1	Prístroj	50
3.2.5.2	Postup	51
3.2.5.3	Výsledky	52
3.2.6	Multistanica	56
3.2.6.1	Prístroj	56
3.2.6.2	Postup	57
3.2.6.3	Výsledky	57
4	URČENIE NEROVNOSTÍ	62
4.1	Index IRI	62
4.1.1	Presná nivelácia	62

4.1.2	Totálna stanica	63
4.1.3	Statický skener	63
4.1.4	Multistanica	63
4.2	Pozdĺžna nerovnosť pod latou dĺžky 4 m - L4m	64
4.2.1	Presná nivelácia	64
4.2.2	Totálna stanica	65
4.2.3	Statický skener	65
4.2.4	Multistanica	66
4.2.5	Cestná lata	66
4.3	Priečna nerovnosť pod latou dĺžky 2 m - L2m	67
4.3.1	Profilomer Dipstick	67
4.3.2	Statický skener	68
4.3.3	Multistanica	68
4.3.4	Cestná lata	69
5	VYUŽITIE V PRAXI	70
5.1	Presnosť	70
5.2	Čas	71
5.3	Ekonomická stránka	71
5.4	Reprodukovateľnosť merania	72
5.5	Zásah do premávky	72
6	ZÁVER	74
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	76
	ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK	80
	ZOZNAM SKRATIEK	83
	ZOZNAM PRÍLOH	84

1 Úvod

Písal sa rok 1885 kedy v Nemecku istý Karl Benz zostrojil prvý automobil, ktorý využíval benzínový spaľovací motor. Tento milník považujeme za začiatok motorovej éry, ktorá trvá doteraz a koniec je v nedohľadne. Za takmer 135 rokov sa automobily vylepšovali a zdokonaľovali, z nepôvabných strojov vznikli dopravné prostriedky, ktoré vynikajú luxusom, výkonom, komfortom a po technickej stránke sú tým najlepším a najkomplikovanejším, čo si môže bežný človek zadovážiť. [1]

Tak ako sa zdokonaľujú automobily, tak sa museli zdokonaľovať aj cesty, po ktorých sa premávajú. Z prasných hlinených ciest, vyjazdených záprahmi kočov, sa postupne stali dláždené vozovky. Tie však neprinášali dostatočný komfort a neumožňovali naplniť rýchlostný potenciál rapídne vyvíjajúcich sa automobilových strojov. Netrvalo dlho a ľudstvo zistilo, že betón sa dá využiť aj inak ako na stavbu budov a tak v roku 1909 v USA vznikla prvá betónová diaľnica. Betón spolu s asfaltom sa stali najbežnejšími stavebnými materiálmi dnešnej doby. [2]

Výstavba a údržba pozemných komunikácií sa tak stáva výraznou súčasťou civilizácie, viaže finančné a materiálové zdroje a neposlednom rade sa stáva predmetom výučby a výskumu. [3] Kdežto v roku 1938 bolo v Českej republike okolo 150 000 motorových vozidiel, [4] tak dnes je registrovaných viac ako 8 miliónov, čo spôsobuje značné opotrebovanie pozemných komunikácií a teda je nutná ich údržba alebo rekonštrukcia. [5] Pri tak vysokom počte vozidiel na cestách je najdôležitejšou otázkou, otázka bezpečnosti. Tá môže byť výrazne znížená vplyvom nerovností vozovky v podobe vyjazdených koľají alebo prasklín spôsobených vozidlami s nadmernou hmotnosťou alebo mrazom či vysokou teplotou. Nerovnosti zabraňujúce odtoku vody, ktorá prispieva k neovládateľnosti vozidla, môžu mať vysokú cenu, často vyčíslenú ľudskými životmi. Pre zamedzenie týmto udalostiam je potrebné monitorovať povrch vozovky kontrolovaním geometrických parametrov dopravných stavieb, medzi ktoré patrí meranie nerovností povrchu vozovky. Meranie nerovností je vykonávané u novostavieb pri prevzatí od zhotoviteľa a po uplynutí záručnej doby. U existujúcich komunikácií sa merania vykonávajú priebežne počas užívania pre prípadnú údržbu či rekonštrukciu. Dvomi základnými parametrami indikujúcimi k týmto úkonom sú veľkosť a počet nerovností. Tie sú merané štandardne v pozdĺžnom a priečnom smere. Vyhodnotenie týchto parametrov slúži ako základný podklad pri plánovaní opráv

a údržieb vozoviek. Oproti iným geodeticky meraným parametrom, ako napríklad dodržanie absolútnych výšok podľa projektu, dostáva meranie nerovností väčší význam, pretože výrazne ovplyvňuje jazdný komfort a životnosť, či už samotnej komunikácie ako aj motorového vozidla, a to najmä nápravy a pneumatík. [6]

Norma ČSN 73 6175 nám dáva obraz o štandardne využívaných klasických metódach, akými sú cestná lata s meračskými klinmi, planograf, nivelácia či profilomer, ale tak ako sa vyvíjajú materiály na výstavbu ciest, tak sa vyvíjajú aj metódy na ich zameranie. Okrem spomínaných klasických metód dnes prichádzajú v úvahu alternatívne moderné geodetické metódy ako polárna metóda, statické či mobilné laserové skenovanie. Tieto metódy majú uľahčiť, spresniť a zefektívniť meranie nerovností, ale je tomu naozaj tak?

Obsahom diplomovej práce pod názvom „Měření nerovností povrchu vozovek“ je práve vyhodnotenie alternatívnych metód a ich porovnanie s klasickými. Referenčnými metódami sú presná nivelácia, pri určovaní pozdĺžnych nerovností, a profilomer, pri určovaní priečnych nerovností. Hlavnými predmetmi porovnania sú výšky na profiloch a parametre nerovností vyjadrené indexom IRI (International roughness index) a maximálnou hodnotou dvojamplitúdy nerovností, pričom zásadná je presnosť ich určenia.

V úvodnej kapitole sú teoreticky popísané parametre reprezentujúce nerovnosti povrchov a metódy ich zamerania, pričom dôraz je kladený na vyhodnocované. V ďalšej časti práce je rozobrané samotné meranie jednotlivými metódami, jeho technologický postup a výsledky v podobe profilov, spolu s vyhodnotením absolútnych a relatívnych presností. V ďalšej kapitole sú porovnané výsledky jednotlivých metód na úrovni parametrov nerovností. Záverečná časť je venovaná porovnaniu metód z hľadiska využitia v praxi na základe získaných výsledkov.

2 NEROVNOSTI POVRCHU VOZOVIEK

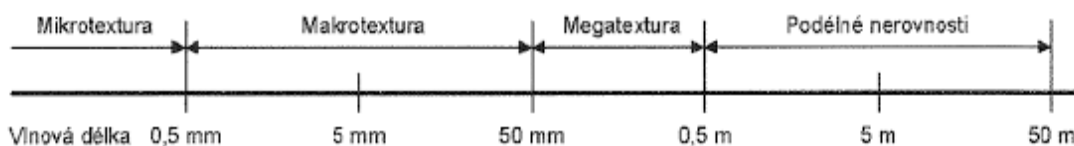
Nerovnosť vozovky je všeobecne definovaná ako vyjadrenie nepravidelností, ktoré ovplyvňujú kvalitu a bezpečnosť jazdy. Táto nepravidelnosť sa dá teoreticky popísať zvlnením povrchu s vlnovou dĺžkou od 0,5 m do 50 m. Nerovnosti môžu byť spôsobené nesprávnou pokládkou alebo hutnením vo fáze výstavby alebo deformáciami spôsobenými dopravou, opotrebovaním vozovky alebo pohybom v podloží v priebehu bežného používania vozovky. [8] Nerovnosť je dôležitou charakteristikou vozovky, pretože ovplyvňuje nielen jazdnú kvalitu, ale aj spomalenie automobilu, spotrebu paliva či náklady na servis. Je vyjadrená niekoľkými parametrami, ktoré môžu byť merané viacerými metódami. [9]

2.1 Definície

Z dôvodu ucelenosti textu práce je dôležité uviesť si niektoré pojmy a ich definície, ktoré súvisia s danou problematikou a majú zásadný vplyv na pochopenie práce. Tie vychádzajú z normy ČSN 73 6175 Měření a hodnocení nerovnosti povrchu vozovek.

Nerovnosť

Odchýlka povrchu vozovky od filtrovaného skutočného rovného povrchu vo vlnovom rozsahu od 0,5 m do 50 m. [7]



Obrázok 1 Rozdelenie geometrických parametrov podľa vlnovej dĺžky [7]

Pozdĺžny profil

Prienik medzi povrchom vozovky a referenčnou rovinou kolmou k povrchu vozovky a rovnobežnou so smerom jazdného pásu. [7]

Priečny profil

Prienik medzi povrchom vozovky a referenčnou rovinou kolmou k povrchu vozovky a ku smeru jazdného pásu. [7]

Referenčný profil

Digitalizovaný geometrický popis pozdĺžneho alebo priečneho geometrického profilu zistený profilovacou metódou so spoľahlivou presnosťou, lepšou ako je požadovaná pre odpovedajúcu triedu dynamických profilomerov. [7]

Krok vzorkovania

Vzdialenosť medzi dvomi nasledujúcimi bodmi zistená pri jednotlivých meraniach pozdĺžneho/priečneho profilu. [7]

Profilovanie

Skúšobná metóda, pri ktorej sa zaznamenáva profil povrchu vozovky pre následnú analýzu; hodnoty profilu sa použijú pre výpočet určitých matematicky definovaných parametrov. [7]

2.2 Parametre nerovností

Nositeľom informácie o nerovnosti môžu byť viaceré parametre, ktoré sú vyhodnocované v pozdĺžnom či priečnom smere. Pozdĺžne nerovnosti povrchu vozovky sú hodnotené, buď výškovým údajom alebo parametrom nerovnosti, odvodeným zo statickej teórie náhodných funkcií alebo stanovením z odozvy skúšobného systému, idúceho cez tieto nerovnosti. [7] Jedným z týchto parametrov a zároveň primárne určeným je index IRI, ktorý sa určuje pri prevzatí, na konci záručnej doby a v pravidelných intervaloch pri užívaní komunikácie. Tento parameter vstupuje do systémov hospodárenia s vozovkou.

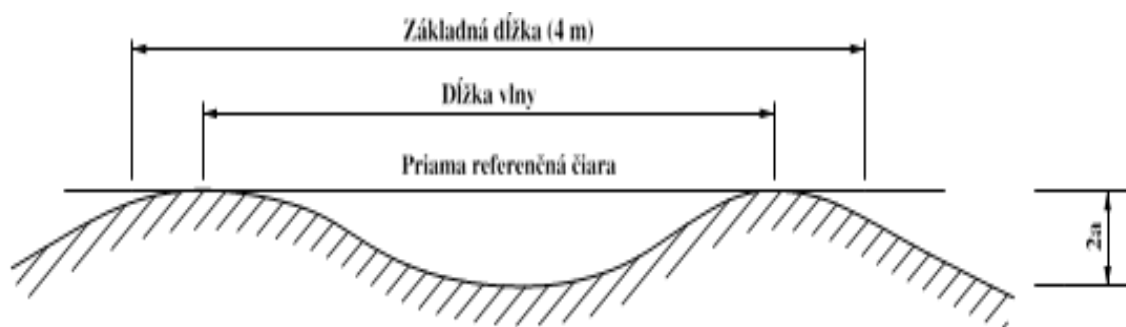
Nerovnosť priečneho profilu vozovky zahŕňa rôzne aspekty ako sú: priečny sklon, nerovnosti alebo poruchy v priečnom profile (schodky, hrbole, poklesy a pokles okrajov vozovky) a pozdĺžne koľaje spôsobené dopravou v stopách kolies. [8] Tie sú, z hľadiska povrchových vlastností a ich vplyvu na prevádzkovú spôsobilosť vozoviek, rozhodujúcim hodnotiacim faktorom a tiež základným ukazovateľom hĺbky vody.

Požiadavky na pozdĺžnu a priečnu nerovnosť pre rôzne vozovky sa môžu líšiť a vo veľkej miere súvisieť s najvyššou povolenou rýchlosťou, druhom dopravy, klimatickými podmienkami, prijatými medzami komfortu a podobne. Nerovnosti priečneho profilu a predpokladaných jazdných stôp vozovky sú preto kľúčovou informáciou pre prebratie novobudovaných vozoviek.

2.2.1 Parametre pozdĺžnej nerovnosti

Maximálna hodnota dvojamplitúdy nerovnosti 2a (L4m)

Nerovnosť pod latou základnej dĺžky 4 000 mm položenej na povrch vozovky. [7]
Nerovnosť povrchu obrusnej vrstvy komunikácií pri prevzatí do premávky nesmie byť väčšia ako 5 mm. [10]



Obrázok 2 Dvojamplitúda nerovnosti 2a [7]

Medzinárodný index nerovnosti IRI

Je stanovený simuláciou jazdy dvojhmotového referenčného odozvového systému - štvrtiny vozidla pri rýchlostiach 80 km/h - po pozdĺžnych nerovnostiach, ktorých priebeh môže byť zistený presnou niveláciou alebo profilomerom Dipstick. Je funkciou pozdĺžneho profilu, ktorý môže byť zameraný rôznymi spôsobmi, no najčastejšie sa meria dynamicky, multifunkčnými vozidlami, čiže bez primárneho vyhodnocovania výškových údajov na profile. Bežne sa udáva v jednotkách m/km alebo mm/m. Koeficient IRI najlepšie vystihuje úroveň komfortu jazdy na danom úseku vozovky. Rozdelenie do klasifikačných stupňov podľa hodnoty IRI možno vidieť v tabuľke 1. [6]

Miera nerovnosti C a vlnitosť ω

Sú stanovené priamkovým vyrovnaním funkcie výkonovej spektrálnej hustoty (VSH) S_h pozdĺžnej nerovnosti zistenej presnou niveláciou a vynesenej do log-log grafu pričom $C = S_h(1)$ ω je záporná smernica vyrovnávacej priamky. Parametre C a ω sa dajú určiť aj z odozvy zvislých zrýchlení vo vhodne zvolenom referenčnom mieste kalibrovaného meracieho vozu, prechádzajúceho za špecifických podmienok po skúšanom povrchu. Rozdelenie do klasifikačných stupňov podľa hodnoty C možno vidieť v tabuľke 1. Tieto parametre sa u nás veľmi nepoužívajú. [7]

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
Podélná nerovnost pro úsek 20 m – mezinárodní index IRI (m/km)	≤ 1,9	2,0 – 3,0	3,1 – 4,2	4,3 – 6,3	> 6,3
– míra nerovnosti C (10 ⁻⁶ rad·m)	≤ 0,9	1,0 – 2,2	2,3 – 4,6	4,7 – 10,0	> 10,0

Tabuľka 1 Klasifikačné stupne podľa hodnôt IRI a C [11]

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
PK s dovolenou rychlostí > 50 km·h ⁻¹					
PK s dovolenou rychlostí ≤ 50 km·h ⁻¹					

	Přejímka povrchu pro uvedení vozovky do provozu ¹
	Posouzení povrchu vozovky na konci záruční doby
	Plán souboru opatření pro zvýšení provozní způsobilosti povrchu vozovky
	Provedení opatření pro zvýšení provozní způsobilosti vozovky ²

Tabuľka 2 Požadované opatrenia podľa klasifikačného stupňa nerovnosti [11]

2.2.2 Parametre priečnej nerovnosti

Maximálna hodnota dvojamplitúdy nerovnosti 2a (L2m)

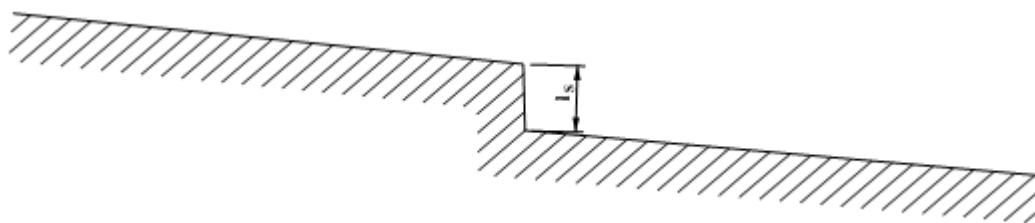
Rovnako ako pri pozdĺžnych nerovnostiach je meraná dvojamplitúda nerovnosti 2a, s tým rozdielom, že miesto laty dĺžky 4 000 mm je použitá lata dĺžky 2 000 mm. Nerovnosť povrchu obrusnej vrstvy komunikácií pri prevzatí do premávky nesmie byť väčšia ako 5 mm. [10]

Priečny sklon

Vozovky sú navrhované s priečnym sklonom z bezpečnostných dôvodov a to hlavne k umožneniu bezpečného prejdenia smerových oblúkov s rôznym polomerom a z dôvodu odtoku vody. Priemer priečneho sklonu je definovaný ako uhol medzi vodorovnou priamkou a regresívnou priamkou prechádzajúcou priečnym profilom vozovky, stanovený najmenej siedmymi meracími bodmi naprieč profilom. [8] Maximálna možná odchýlka od predpísaného sklonu je uvedená v ČSN 73 6121 čl. 6.4.6.

Výška schodku I_s

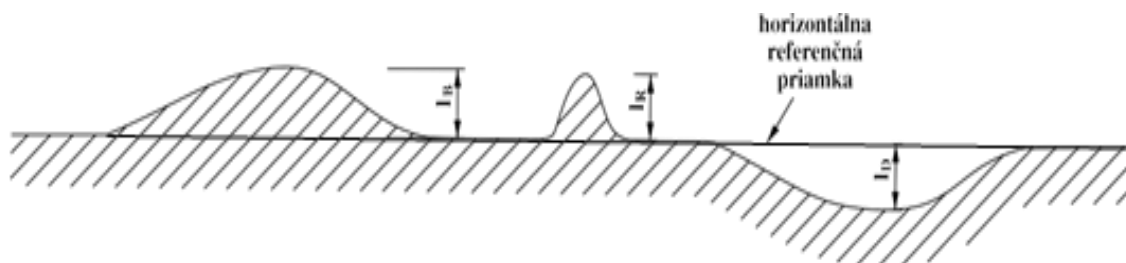
Vertikálny posun od referenčnej priamky. [8]



Obrázok 3 Výška schodku [8]

Pozdĺžne chrbty l_R , hrbole l_B , poklesy l_D

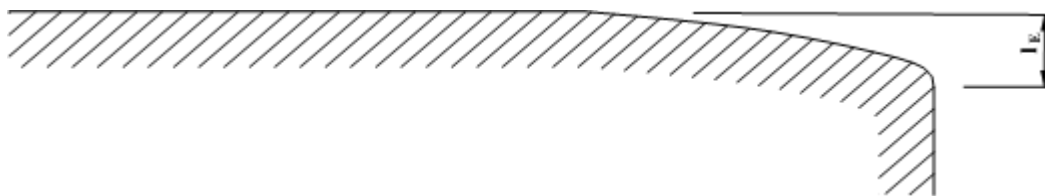
Výškový rozdiel medzi horizontálnou referenčnou priamkou a najvyšším alebo najnižším miestom. Ak je pomer $l/p > 1$, jedná sa o chrbát, pri pomere $l/p \leq 1$ sa jedná o hrboľ. [8]



Obrázok 4 Pozdĺžne chrbty, hrbole a poklesy [8]

Pokles hrany l_E

Odchýlka okraja vozovky pod referenčnú priamku. [8]

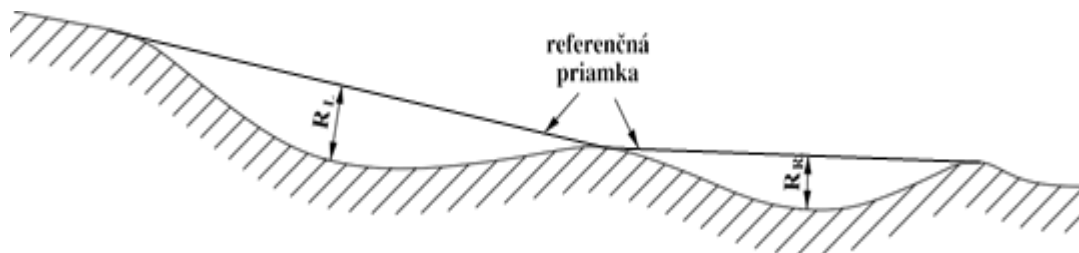


Obrázok 5 Pokles hrany [8]

Hĺbka vyjazdenej koľaje R

Vyjazdené koľaje sa prejavujú ako plynulé poklesy v pozdĺžnom smere v jazdných stopách. Z hľadiska bezpečnosti dopravy je hĺbka vyjazdených koľají obmedzená na určitú úroveň tak, aby sa zabránilo aquaplaningu za mokra a aby sa zaistila dostatočná bočná stabilita vozidiel s prívesmi. Hĺbka vyjazdenej koľaje je definovaná ako najväčšia odchýlka priečneho profilu povrchu vozovky od zdanlivej referenčnej priamky o dĺžke L ,

vedúcej po povrchu profilu v medziach analyzovanej šírky od jednej hrany ku druhej hrane vyjazdenej koľaje. [8]



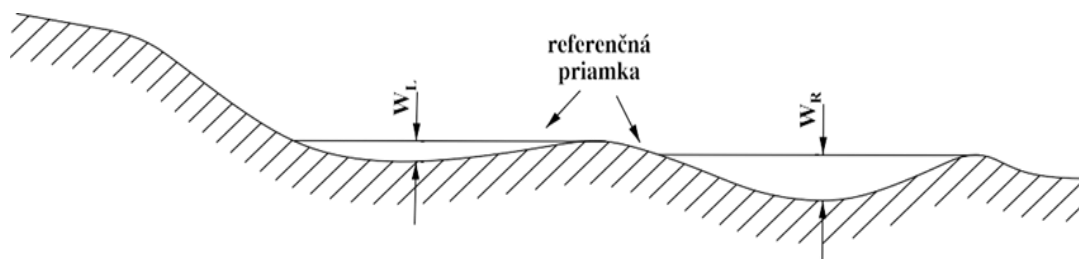
Obrázok 6 Hĺbka vyjazdenej koľaje [8]

Parameter	Klasifikačný stupeň				
	1	2	3	4	5
R [mm]	$R < 5(4)^a$	$(4)^a 5$ až $10(8)^a$	$(8)^a 11$ až 22	23 až 35	$R > 35$
^a Hodnota v zátvorke platí pre komunikáciu s dovoľenou rýchlosťou < 90 km/h.					

Tabuľka 3 Klasifikačné stupne na základe hodnoty R [7]

Teoretická hĺbka vody W

Výškový rozdiel medzi vodorovnou referenčnou priamkou prechádzajúcou najvyšším bodom nižšej hrany vyjazdenej koľaje a najhlbším bodom vo vyjazdenej koľaji, teda najväčšia možná výška vody v koľaji. Je ukazovateľom rizika aquaplaningu. Povrch vozovky sa považuje za nevyhovujúci ak $W \geq 8,0$ mm. [7] [8]



Obrázok 7 Teoretická hĺbka vody [8]

2.3 Metódy zamerania

Meranie pozdĺžnej a priečnej nerovnosti vozovky bolo predmetom mnohých výskumov po dobu viac ako 70 rokov, ich výsledkom je celý rad technológií a metód, od manuálneho určenia nerovností meračským klinom pod latou, cez mobilné profilomery až po komplexné vyhodnotenia rôznych vlastností vozovky multifunkčným vozidlom (nerovnosti, makrotextúra, protišmykové vlastnosti a iné). Meračské metódy by sa dali rozdeliť podľa rôznych aspektov:

- Podľa vývoja využitia v praxi
 - klasické – cestná lata s klinom, presná nivelácia a planograf
 - moderné – profilomer s dvojmotovým odozvovým systémom, profilomer s laserovým snímačom a snímačom zvislého zrýchlenia a profilomer Dipstick
 - alternatívne – polárna metóda, statické laserové skenovanie, spojenie týchto dvoch metód – multistanica a mobilné skenovanie
- Podľa princípu merania
 - dynamické – sú založené na hodnotení odoziev snímačov na vozidlách, ktoré prechádzajú nerovnosťami. Sú to napríklad multifunkčné vozidlá, ktoré súčasne snímajú viaceré údaje o vozovke (makrotextúra, videozáznam, protišmykové vlastnosti). [6]
 - geometrické – pracujú s geodeticky zameranými výškami alebo priamo merajú nerovnosti napr. pokladaním laty [6]
- Podľa kontaktu s meraným povrchom
 - dotykové – cestná lata, presná nivelácia, Dipstick...
 - bezdotykové – statický skener, multistanica, mobilné skenovanie...

2.3.1 Zásady merania

Pri meraní nerovností je, z hľadiska správnych a vierohodných výsledkov, nutné dodržiavať isté zásady.

- Meranie musí byť vykonané na čistom povrchu vozovky, stav povrchu sa zaznamenáva do protokolu o meraní. Povrch nesmie byť vlhký a nesmú na ňom byť kaluže vody, tie môžu spôsobiť zmenu odrazivosti laserového svetla vysielaného prístrojom. [12]
- Pri meraní na prevzatie nových povrchov musí byť meranie vykonané najneskôr do doby 3 mesiacov od uvedenie nového povrchu do premávky. [7]
- Mobilnými meračskými zariadeniami je možné merať za plnej premávky. Pri ostatných metódach, kedy je potrebné vstupovať na vozovku, musí prísť k odluke dopravy.
- Meria sa v jazdných stopách, pri opakovanom meraní v identickej jazdnej stope. [7]
- Meria sa spravidla v pravom jazdnom pruhu alebo vo všetkých. [7]

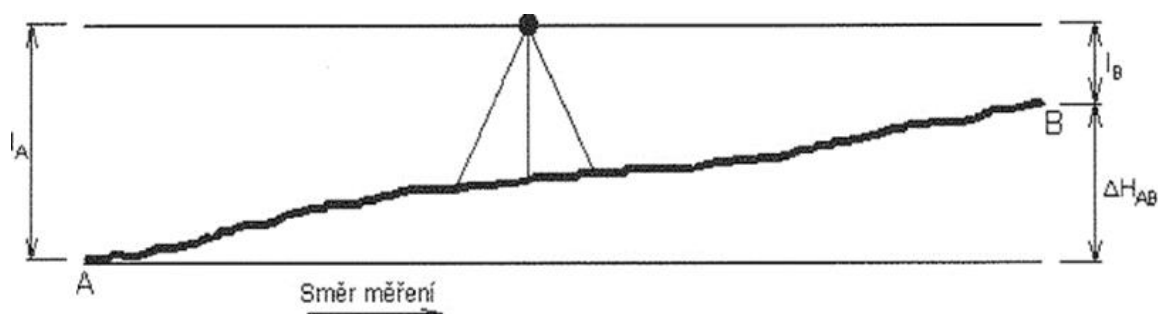
- Pred každým meraním sa prevedie kontrola správnej funkcie a kalibrácia meracieho zariadenia. [7]

2.3.2 Klasické metódy

Pod pojmom klasické metódy si môžeme predstaviť také, ktoré z historického hľadiska boli použité medzi prvými a stále plnia svoj účel. Nie sú náročné na vybavenie, majú relatívne jednoduchý princíp, ale spĺňajú požiadavky na presnosť.

2.3.2.1 Presná nivelácia

Presná nivelácia je jednou z najpoužívanějších a najpresnejších metód zamerania výšok v oblasti inžinierskej geodézie. Preto je tiež jednou z najvhodnejších metód, z hľadiska presnosti, na zameranie nerovností povrchu vozovky. Podľa „Technických podmínek 207, Ministerstva dopravy ČR“ zodpovedá presná nivelácia presnosti „Trieda 1“ a môže byť použitá na vytvorenie referenčného profilu a kalibrovanie iných technológií. Používajú sa digitálne prístroje s presnosťou čítania na late menšou ako 0,1 mm. Princíp spočíva vo vytvorení vodorovnej zarovnávací roviny prístrojom, ku ktorej sa pomocou zvislej nivelačnej laty výškovo vzťahujú zameriavané body. Vychádza z bodov s danými výškami a určuje absolútne výšky podrobných bodov na profile. Výšky podrobných bodov sa určujú metódou presnej geometrickej nivelácie zo stredu. Cieľom je zistenie skutočného profilu povrchu vozovky a stanovenie parametrov nerovnosti. Používa sa na určenie pozdĺžnych, ale aj priečných nerovností. Z hodnôt presnej nivelácie je možné stanoviť index IRI. [7]

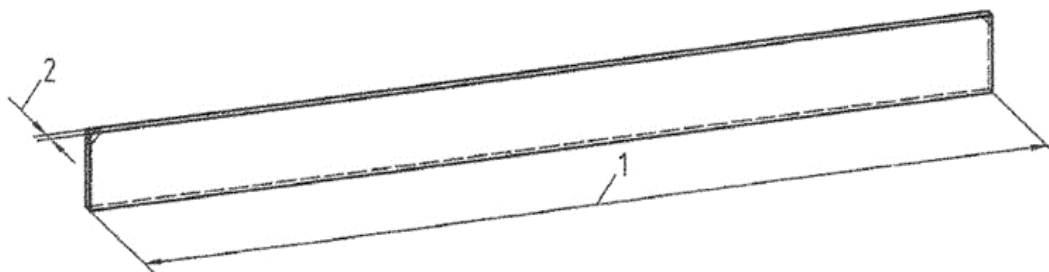


Obrázok 8 Geometrická nivelácia zo stredu [7]

2.3.2.2 Meračské lata s klinom (cestná lata)

Meračská lata je statické zariadenie vhodné na meranie parametrov pozdĺžnych a priečných profilov. Môžeme ňou priamo zisťovať hodnoty maximálnych dvojamplitúd 2a nerovností pod latou. Táto metóda je veľmi dôležitá, pretože v prípade sporu je rozhodujúca. [13] Spravidla sa používa duralová lata o dĺžke 4 000 mm (2 000 mm pri

priečnom profile), pričom šírka spodnej plochy laty, pod ktorou sa meria nerovnosť, musí byť menšia ako 18 mm. Priehyb laty nesmie byť väčší ako 0,3 mm (0,1 mm pri priečnom profile). Maximálny priehyb v priečnom smere nesmie prekročiť 10 mm (2 mm pri priečnom profile). [7]

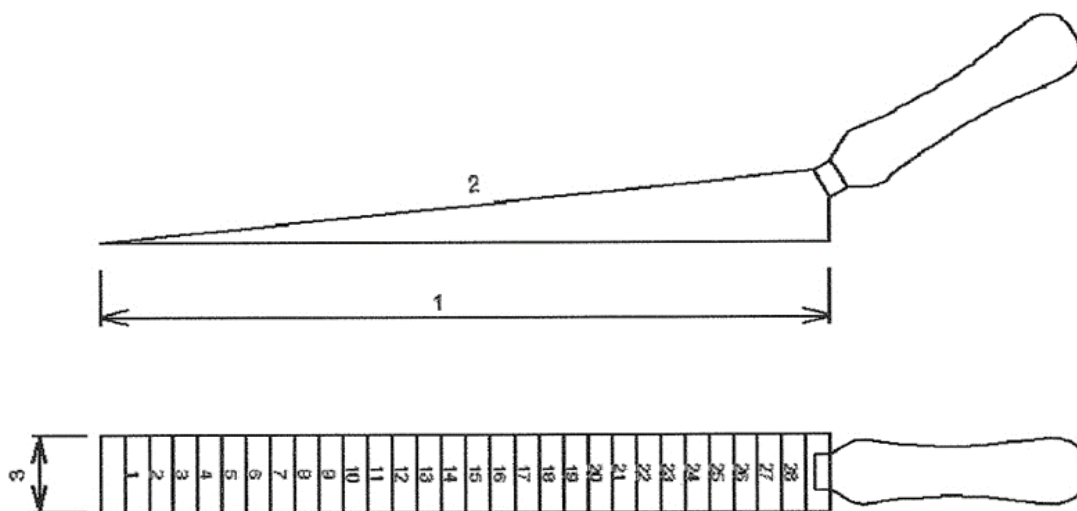


Legenda

- 1 Dĺžka, $l = 4\,000\text{ mm}$ ($2\,000\text{ mm}$) $\pm 3\text{ mm}$ ($\pm 1\text{ mm}$)
- 2 Šírka, $w = \text{max. } 18\text{ mm}$

Obrázok 9 Meračská lata [7]

Aby sme mohli nerovnosti zmerať, je potrebný duralový merací klin. Ten musí byť vyrobený tak aby sklon horného povrchu bol 1:10, tj. každých 10 mm dĺžky zodpovedá 1 mm výšky. Šírka klinu má byť 25-35 mm a dĺžka nemá presiahnuť 300 mm. Obe zariadenia musia byť pravidelne kalibrované a kontrolované. [7]



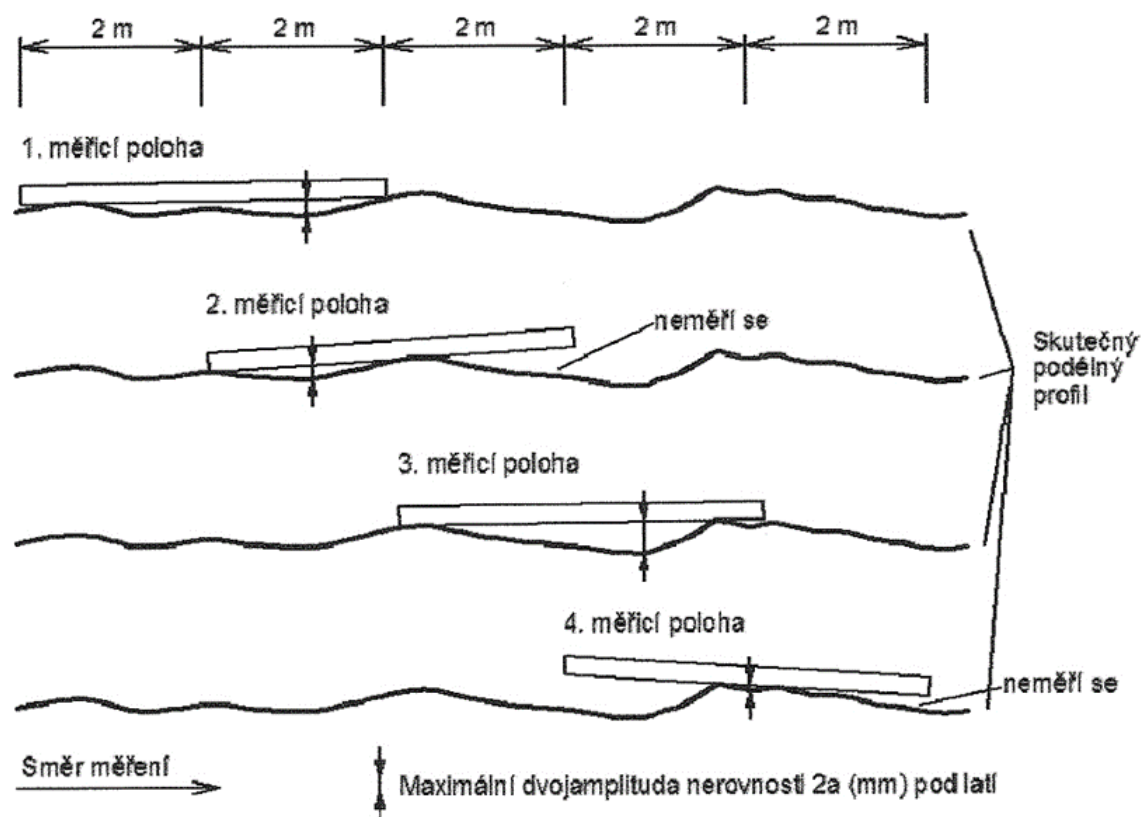
Legenda

- 1 Dĺžka, $l = \text{max. } 300\text{ mm}$
- 2 Sklon, $s = 1:10$
- 2 Šírka, $w = 25\text{ mm až } 35\text{ mm}$

Obrázok 10 Merací klin [7]

Lata sa umiestni na povrch kolmo k meranému povrchu a rovnobežne so stredovou čiarou vozovky (pre pozdĺžny smer) alebo kolmo ku stredovej čiare vozovky

(priechny smer). Zasunutím klinu pod latu sa meria najväčšia dvojamplitúda nerovností, tj. najväčšia vzdialenosť povrchu vozovky od spodnej plochy laty a to iba v úseku medzi dotykovými bodmi laty s vozovkou. V zásade má lata s povrchom vždy 2 dotykové body. Nameraná hodnota sa musí zaznamenať s presnosťou na 1 mm. Meraný povrch musí byť zbavený nečistôt a uvoľneného materiálu. V závislosti na početnosti a charaktere nerovností sa môžu merané miesta vyberať vizuálne alebo postupovať podľa Obrázka 11. [7]

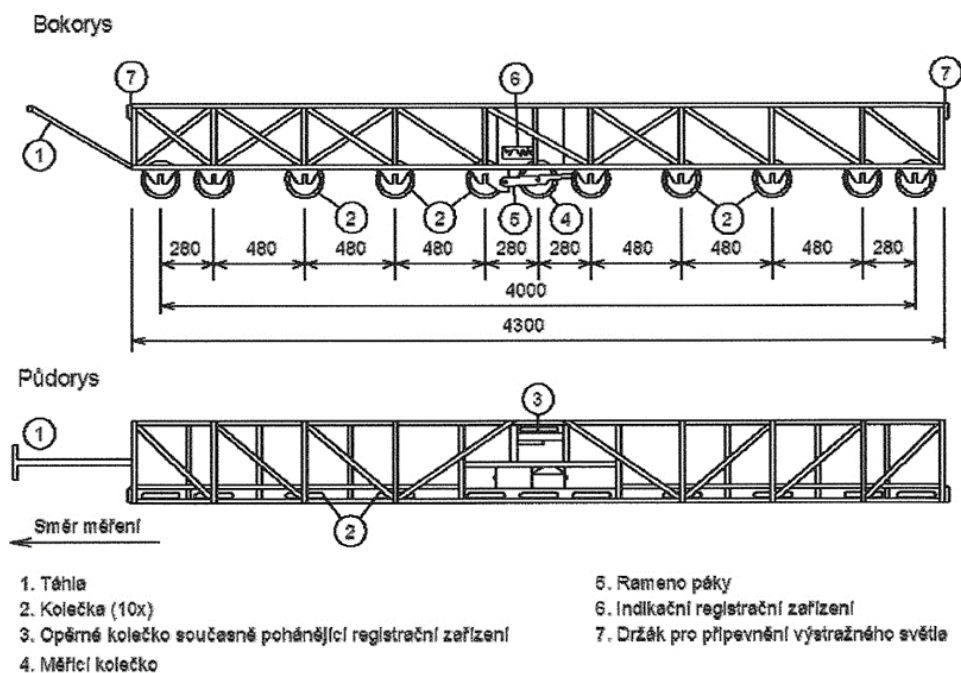


Obrázok 11 Postup merania meračskou latou [7]

2.3.2.3 Planograf

Planografy boli dostupné už pred viacerými rokmi a existujú v mnohých formách a konfiguráciách. Používajú sa pre kontrolu kvality na prijatie stavby vozovky od zhotoviteľa. [9] Je to zariadenie, ktoré slúži na meranie a registráciu pozdĺžnych nerovností povrchu vozovky pod štvormetrovou základnou dĺžkou tvorenou sústavou 10 koliesok. Z nich jedno alebo viac sleduje nerovnosti povrchu pomocou zvislých pohybov hore a dole. Planograf je pri meraní vozovky ťahaný obsluhou. Planograf má spravidla rozsah merania 0 až 40 mm, presnosť indikácie merania je daná kalibráciou prístroja, ale maximálne rozlíšenie je 0,5 mm. Na základe ich dizajnu, nie sú veľmi praktické v meraní stavu vozovky. Planograf je totiž tvorený z meracieho vozíka, ktorý sa skladá

z trubkového rámu, ťažného zariadenia, 10 koliesok, oporného a meracieho kolieska, registračného zariadenia, indikačného zariadenia a merača prejdenej vzdialenosti. [7]



Obrázok 12 Schéma planografu [7]

Planograf sa postaví stredom na začiatok meranej stopy a tlačí sa rýchlosťou danou výrobcom. Má možnosť elektronického aj mechanického záznamu. Pozorovaním indikačného zariadenia sa dá okamžite na skúšanom úseku poznať miesto s nevyhovujúcou hodnotou nerovnosti. Presnosť merania planografom závisí na tom, či spodná strana 10 koliesok, v ktorejkoľvek polohe, leží v jednej priamke. [7]



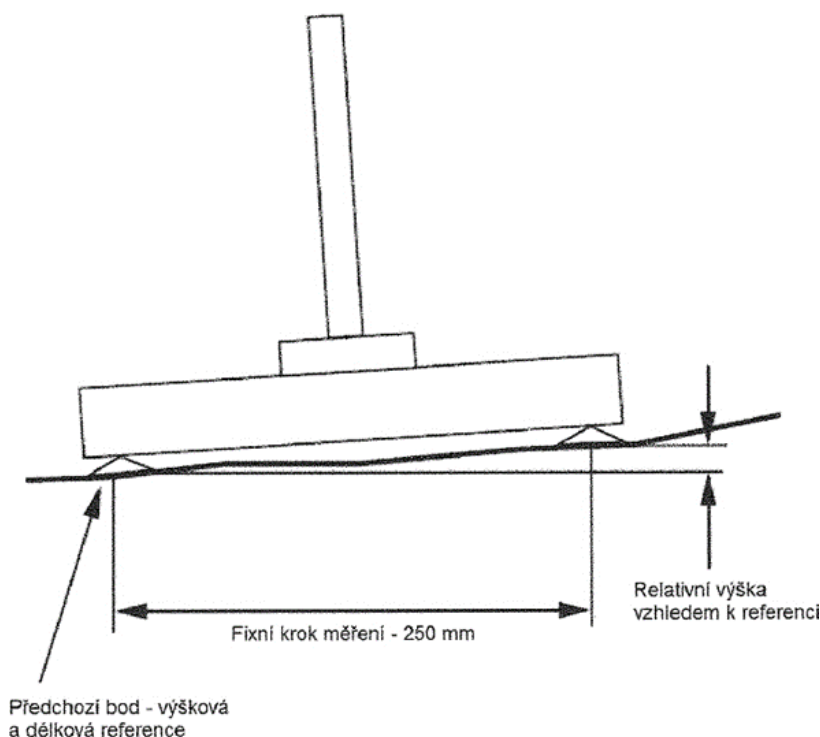
Obrázok 13 Planograf AX02 [14]

2.3.3 Moderné metódy

Modernými metódami rozumieme metódy a technológie, ktoré sú používané na meranie nerovností, ale sú zložitejšie a majú v sebe zabudovaný počítač s výpočtovým softwarom. Nepracujú s absolútnymi výškami, ale iba s relatívnymi vzťahmi medzi bodmi na profiloch.

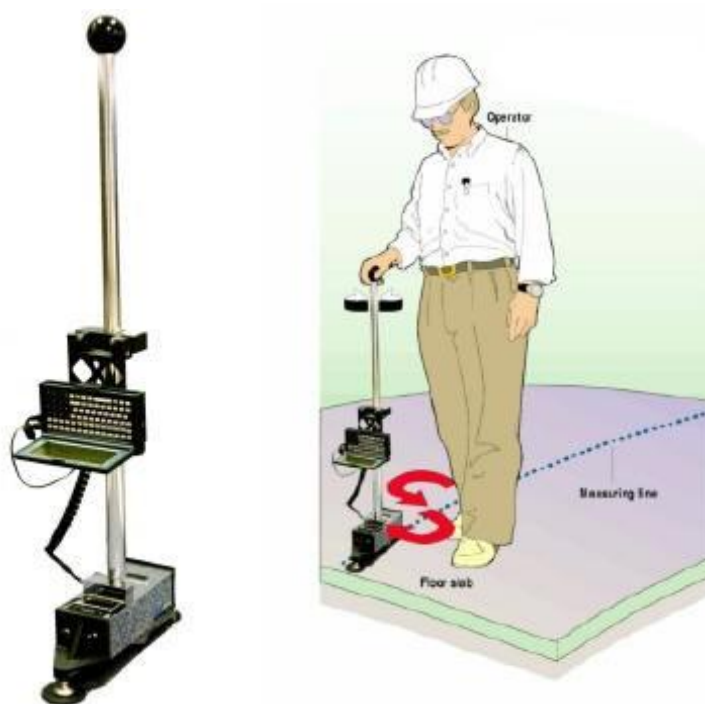
2.3.3.1 Profilomer Dipstick

Profilomer Dipstick sa používa na stanovenie priebehu pozdĺžnej a priečnej nerovnosti povrchu vozovky. Patrí medzi zariadenia 1. triedy presnosti a teda je možné ho použiť na kalibráciu iných profilomerov a stanovenie globálnej prenosovej charakteristiky dvojhmotovej meracej sústavy. Pracuje na princípe merania inklinometrom, z ktorého dáta putujú do mikropočítača, ktorý je súčasťou prístroja. Ten zaznamenáva zmenu výšky vzhľadom k predchádzajúcemu kroku. Krok vzorkovania je závislý od rozpätia nožičiek profilomeru. Ten býva obvykle v rozmedzí 75 – 300 mm, najčastejšie 250 mm. Zásadnými súčasťami sú inklinometer s presnosťou 0,025 mm/krok merania a mikropočítač slúžiaci k záznamu, vyhodnoteniu a prenosu dát. Správna funkčnosť zariadenia sa pred každým súborom merania overuje minimálne na dvoch pracovných referenčných povrchoch. [7]



Obrázok 14 Princíp merania profilomerom Dipstick [7]

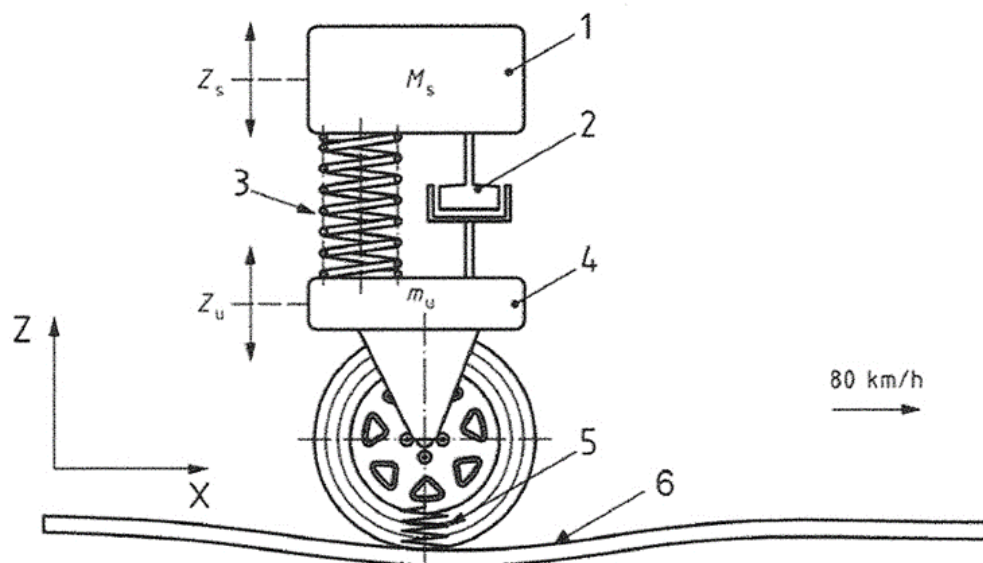
Dipstick je vhodný na meranie kratších úsekov, ale zároveň je rýchlejší ako presná nivelácia. Pri meraní pozdĺžneho profilu je krok vzorkovania nastavený na 250 mm, pri meraní priečného na 100 mm. Výsledkom merania je súbor obsahujúci skutočný profil povrchu vozovky určený relatívnymi výškovými bodmi, ktoré tvoria postupnosť diskretných hodnôt. Z nich sa následne dá vypočítať miera nerovnosti C, IRI či pri priečnom profile nerovnosti R a W.



Obrázok 15 Profilomer Dipstick [9]

2.3.3.2 Profilomer s dvojhmotovým odozvovým systémom

Profilomer s dvojhmotovým odozvovým systémom sa používa na zameranie priebehu pozdĺžnej nerovnosti povrchu vozovky a následné stanovenie indexu IRI. Sníma hodnoty zvislého zrýchlenia neodpruženej a odpruženej hmoty na vozidle, na základe ktorých stanoví priebeh nerovností vyjadrených v IRI. Zariadenie je tvorené jednokolesovým paralelogramovým závesom upevneným do nosného vozidla, s meracím kolesom rovnobežným so smerom jazdy. Vozidlo, na ktorom je profilomer umiestnený, musí byť vybavené sústavou snímačov merajúcich zvislé zrýchlenie s presnosťou $\pm 0,1 \text{ m/s}^2$, počítačom schopným vypočítať IRI, zariadením pre meranie dĺžok a výstražným zariadením. Meria sa v jednej jazdnej stope konštantou rýchlosťou s krokom vzorkovania 250 mm. Pozdĺžne nerovnosti sa stanovia ako súčet premiestnenia nápravy a reakcie pneumatiky na nerovnosti, vyvolané odozvovými silami neodpruženej a odpruženej hmoty. [7]



Legenda

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 Odpružená hmota M_s | 4 Neodpružená hmota m_u |
| 2 Součinitel lineárního tlumení podvozku, C_s | 5 Součinitel tuhosti pneumatiky k_t |
| 3 Součinitel tuhosti podvozku, K_s | 6 Podélný profil $Z(x)$ |
| Z_s Vzdálenost odpružené hmoty od povrchu vozovky | |
| Z_u Vzdálenost neodpružené hmoty od povrchu vozovky | |

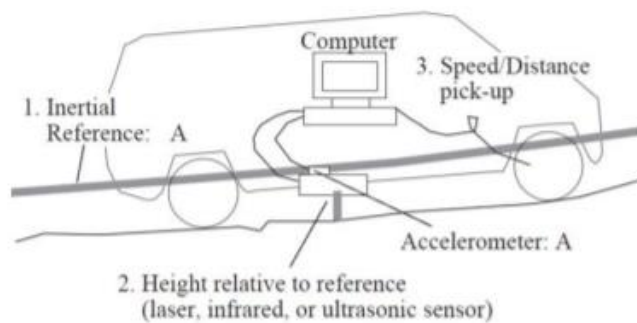
Obrázok 16 Profilomer s dvojhmotovým odozvovým systémom [7]

2.3.3.3 Multifunkčné vozidlo so snímačom zvislého zrýchlenia

Pracuje na rovnakom princípe ako profilomer s dvojhmotovým odozvovým systémom s tým rozdielom, že profil sa prechádza vo viacerých rýchlostiach a stanovuje sa miera nerovnosti C pre pásma dlhých a krátkych vlnových dĺžok.

2.3.3.4 Profilograph GE

Profilograf Dánskej firmy Greenwood Engineering A/S poskytuje detailné informácie o nerovnostiach vozovky na základe snímania pozdĺžnych a priečnych profilov laserovými snímačmi v kombinácii s pokročilými technikami pre zber a analýzu. Je zložený s 16 laserových senzorov, 3 akcelerometrov, 2 gyroskopov, odometra, GPS antény a operačnej jednotky so softwarom na kalibráciu zariadenia a analýzu nameraných dát. Meria povrch vozovky o šírke 2700 mm s frekvenciou čítania pri optimálnej rýchlosti (80 km/h) 72 vzoriek/100mm s presnosťou 0,05 – 1 mm. Z nameraných dát môžu byť vyhodnotené všetky parametre nerovností vozovky spolu s priestorovým profilom či zemepisnou polohou bodov trasy. [15]



LEGENDA:

Inertial Reference - referenčná línia

Height relative to reference - výška vzhľadom ku referenčnej línii

Laser, infrared, or ultrasonic sensor - laserový, infračervený alebo ultrazvukový snímač

Speed/Distance pick-up - snímanie rýchlosti/vzdialenosti

Accelerometer - snímač zrýchlenia

Obrázok 17 Princíp merania Profilographom GE [16]

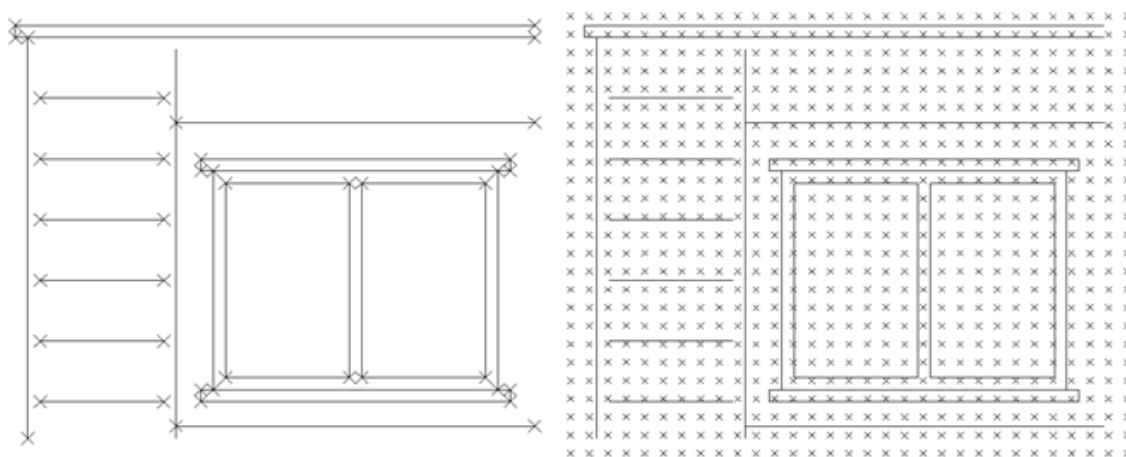


Obrázok 20 Profilograph GE [15]

2.3.4 Alternatívne metódy

Civilizácia sa nikdy neprestane vyvíjať a rozvoj technológií prináša nové progresívne prístupy k určovaniu nerovností povrchu vozovky. Inovácie technológií majú, v dnešnom uponáhľanom svete, za úlohu najmä urýchliť a zjednodušiť meranie parametrov nerovností. Zber dát klasickými metódami často vyžaduje odstavenie dopravy, čo pri alternatívnych metódach odpadá vďaka bezkontaktnému meraniu. Sú to prevažne metódy, dnes už bežne používané v geodézii. Ich výhodou je, že okrem výšok na profile podávajú aj informáciu o presnej polohe nerovností a porúch povrchu vozovky v súradniciach, čo slúži k lepšej identifikácii a technickej dokumentácii týchto miest. Napriek tomu, že medzi tieto metódy radíme aj priestorovú polárnu metódu totálnou

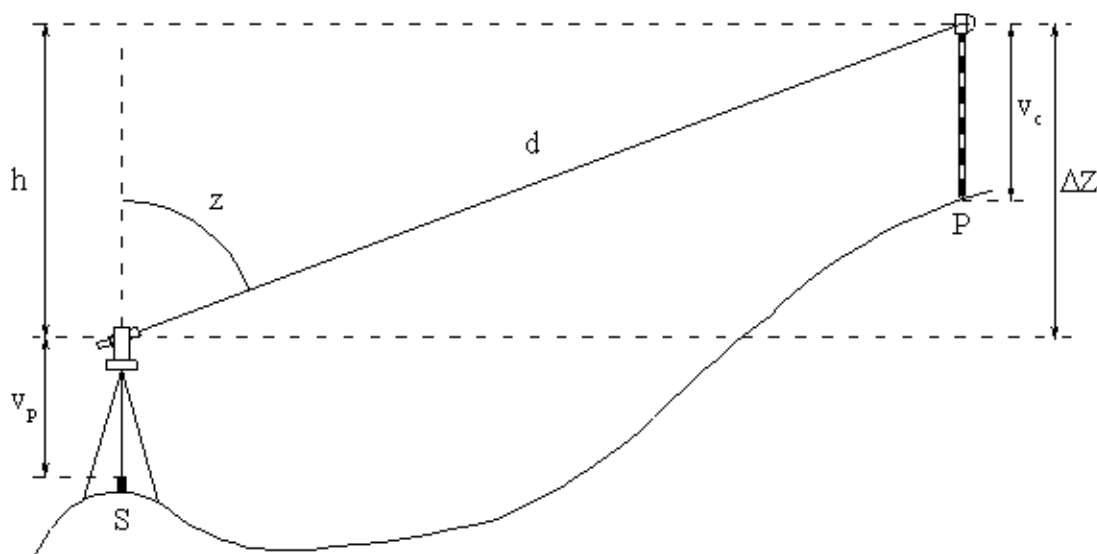
stanicou, tak budúcnosť je v neselektívnych geodetických metódach, ktoré ponúkajú plošné vyhodnotenie a komplexnú analýzu povrchu vozoviek z mračna bodov. S rozvojom týchto technológií museli na trh prísť aj viaceré softwary, ktoré slúžia na spracovanie dát, ich analýzu a matematickú či grafickú interpretáciu. Cieľom je vytvorenie technológie pre ekonomickú a operatívnu identifikáciu výskytu nerovností na vozovke posúdením parametrov nerovností nad modelom komunikácie. [6]



Obrázok 18 Rozdiel medzi selektívnymi a neselektívnymi metódami [17]

2.3.4.1 Priestorová polárna metóda totálnou stanicou

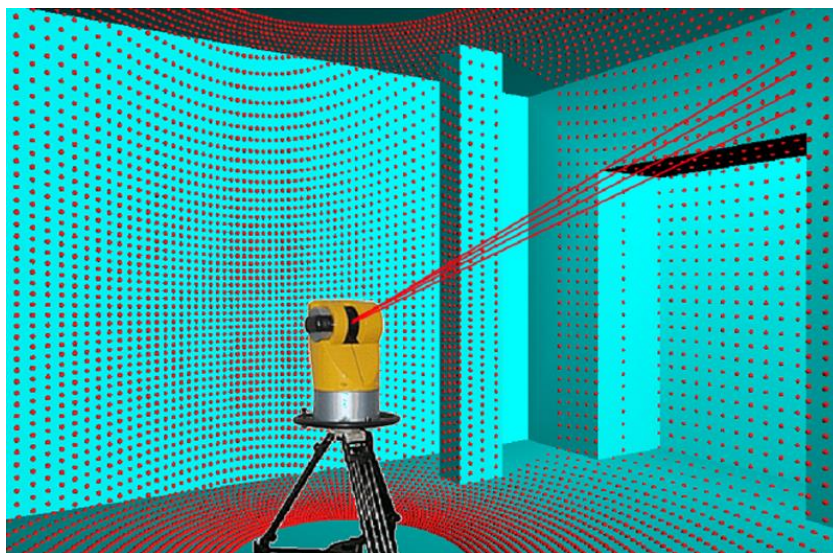
Priestorová polárna metóda je najpoužívanejšia metóda v geodézii. Je ňou možné určiť súradnice Y, X bodov a zároveň aj výšky, ktoré sú z hľadiska nerovností povrchu vozovky zásadné. Oproti presnej nivelácii má nižšiu presnosť, ktorá závisí od použitej totálnej stanice (rádovo milimetre), ale na druhej strane rýchlosť merania je vyššia. Ďalšou výhodou oproti klasickým metódam je možnosť bezhranolového módu merania, takže meranie nerovností povrchu vozovky môže byť prevádzané za plnej premávky. Princíp metódy (na určenie výšok) je založený na meraní zvislého (zenitového) uhlu a šikmej dĺžky, na základe čoho sa prepočítava výškový rozdiel stanoviska a cieľa, ktorý sa pripočíta k výške stanoviska. Cieľom je, rovnako ako pri nivelácii, zistenie skutočného profilu povrchu vozovky, z ktorého sa následne dajú určiť parametre pozdĺžnych či priečnych nerovností ako IRI či R aW.



Obrázok 19 Trigonometrické určenie výšok totálnou stanicou [18]

2.3.4.2 Terestrické laserové skenovanie

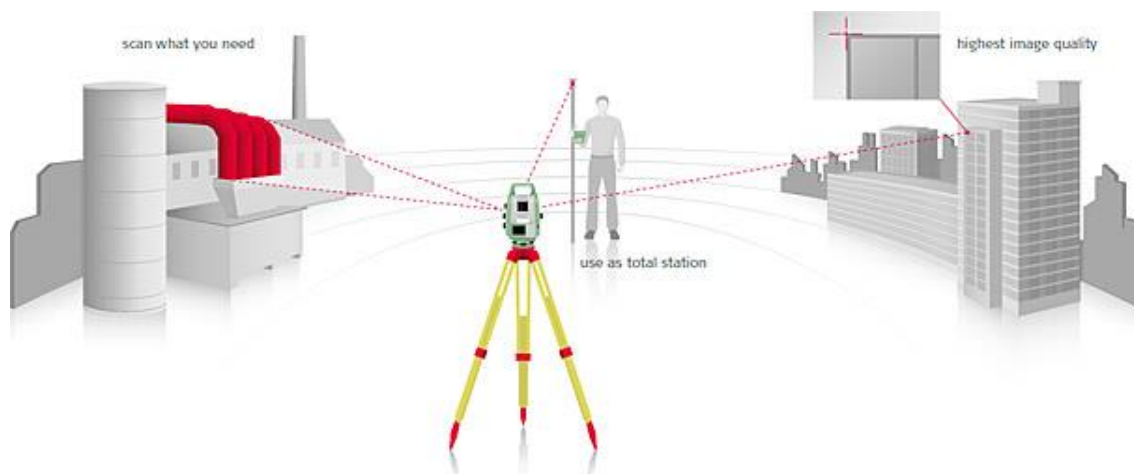
Terestrické laserové skenovanie je metóda, ktorá sa v posledných rokoch dostáva do popredia geodetického sveta. Jej využiteľnosť je veľmi rozmanitá, od 3D modelov budov, mostov, či tunelov až po využitie v priemysle na zameranie zložitých strojov, či súčiastok do nich. Táto technológia je založená na priestorovej polárnej metóde, kde sa merajú horizontálne a vertikálne uhlové kroky a šikmé dĺžky, ktorej výsledkom je mračno bodov. Moderné skenery dokážu vytvoriť aj fotografie skenovanej oblasti. Skenovanie je vďaka kvalitným technológiám možné realizovať s vysokou presnosťou (rádovo milimetre). [19] Kameňom úrazu skenovania je spracovanie nameraného mračna bodov do výsledného 3D modelu. To vyžaduje výkonný počítač spolu so softwarovým vybavením pre správne georeferencovanie skenov, ich vzájomné spojenie a optimalizáciu. Na správne spojenie skenov sú pri meraní použité vlícovacie plochy prípadne guľe, ktoré sú skenované z aspoň 2 pozícií skenera. Aspoň niektorým z nich musia byť zamerané priestorové súradnice, aby bolo možné skeny georeferencovať. Na výslednom 3D modeli je možné sledovať celý povrch vozovky a teda určiť presné miesta nerovností a zároveň s vysokou presnosťou aj samotné parametre nerovností, či už na pozdĺžnom alebo priečnych profiloch.



Obrázok 23 Princíp laserového skenovania [20]

2.3.4.3 Multistanica

Meranie multistanicou je najmodernejšou metódou v geodézii. Prináša spojenie laserového skenera s presnou totálnou stanicou. Princíp je rovnaký ako u laserového skeneru, ale oproti nemu má multistanica možnosť georeferencovania priamo na mieste merania. Prostredníctvom priestorovej polárnej metódy sa určia súradnice prechodného stanoviska, na ktorom dochádza ku skenovaniu. Dosahuje presnosti skenovania až 1 mm.



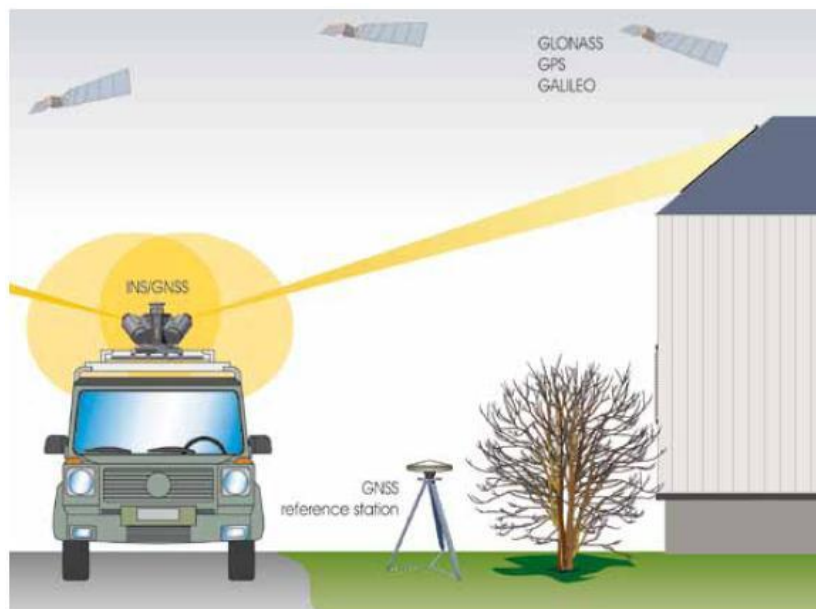
Obrázok 20 Možnosti multistanice [21]

Každá skenpozícia je vzájomne nezávislá a meria sa v súradnicovom systéme aktuálneho stanoviska. Vzhľadom na vysokú presnosť jeho určenia dosahujú skeny dostačujúcu presnosť vzájomného prekrytia. Namerané mračno bodov je tak georeferencované, spojené a jedinou úlohou zostáva jeho optimalizácia. K skenom je

možné vytvoriť fotografie danej skenovanej oblasti. Rovnako ako pri skeneri je výsledným produktom 3D model povrchu vozovky, na ktorom je možné určiť parametre nerovností pozdĺžnych a priečnych profilov.

2.3.4.4 Mobilné laserové skenovanie

Mobilné laserové skenovanie je dnes využívané vo viacerých odvetviach, od mapovania zemského povrchu, cez 3D modelovanie miest až po zameranie interiérov či autonómne riadenie vozidiel. Laserový skener môže byť umiestnený prakticky na hocijaký hýbajúci sa objekt, či už je to automobil, dron, robot alebo loď. Nosič musí byť okrem skeneru opatrený prijímačom GNSS, inerciálnou meracou jednotkou (IMU) a kamerou. Princíp metódy je založený na sústavnom meraní GNSS a IMU, ktoré určujú polohu skeneru v pohybe. Skener prípadne dvojica skenerov počas jazdy zbiera 3D informácie o okolitom prostredí s presnosťou do 1 cm. [22] Na zameranie nerovností povrchu vozovky sa používa laserový skener umiestnený na idúcom automobile. Získané mračno bodov má vysoké množstvo a hustotu bodov, čím vzniká veľký súbor na spracovanie. Relatívnu presnosť výšok bodov na vozovke môžeme odhadnúť na 3-4 mm pre oblasť do 10 m od skeneru. Cieľom je vytvorenie modelu terénu z mračna bodov, z ktorého je možné vyhodnotenie parametrov nerovností a iných parametrov charakterizujúcich povrch vozovky. [6]



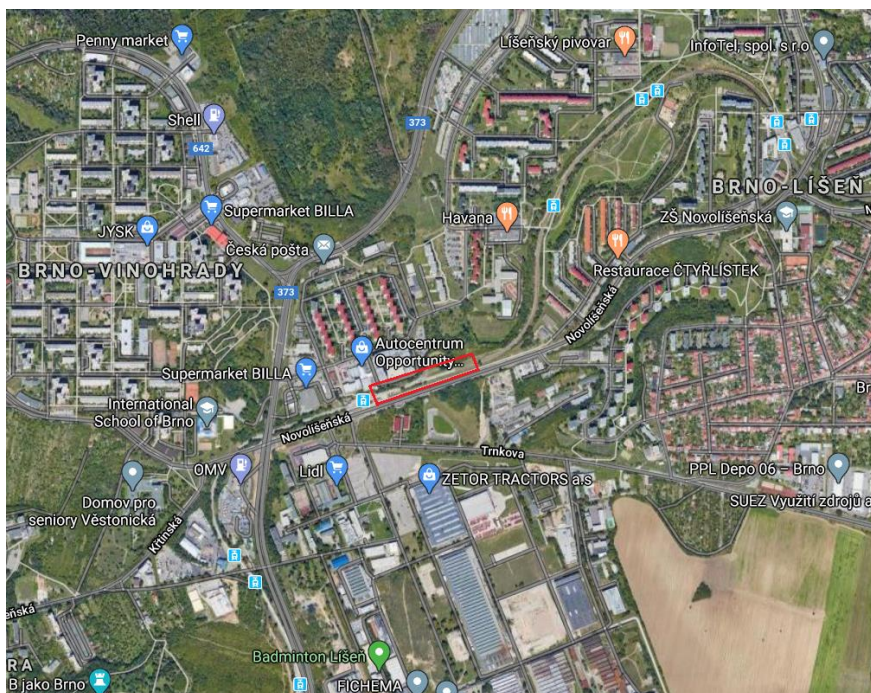
Obrázok 21 Princíp mobilného skenovania [23]

3 ZAMERANIE PROFILOV

V tejto kapitole bude upresnená lokalita meraného profilu, sieť meračských bodov, z ktorých sa pri meraní vychádzalo a postup jej výškového overenia. Následne budú popísané použité prístroje a technologický postup každej metódy, spolu s vyhodnotením absolútnej a relatívnej presnosti meraných výšok na úrovni profilu.

3.1 Lokalita

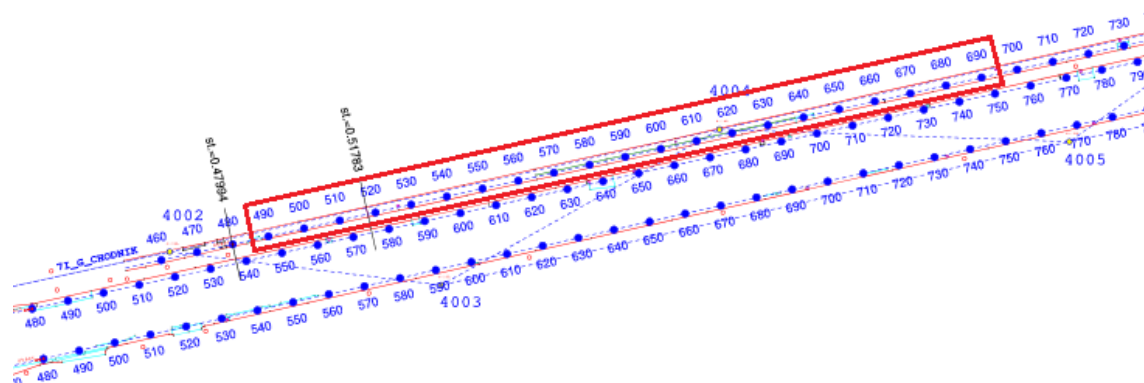
Lokalita a umiestnenie profilu boli zvolené na základe, už započatého, projektu geodetickej firmy vedúceho práce Ing. Ladislava Bártu, Ph.D. Boli mi poskytnuté údaje a informácie o presnej polohe profilu v podobe súradníc X, Y, Z ako aj súradnice bodového poľa vybudovaného danou firmou. Projekt sa nachádza v Brne, v časti Líšeň, na ulici Novolíšeňská, nad budovou Lidl, na priamej časti vozovky vedľa miesta otáčania električky č. 8.



Obrázok 22 Poloha projektu [24]

Nachádzajú sa tu 3 sledované pozdĺžne profile. Dva profilu sú umiestnené na ceste pre motorové vozidlá o dĺžke 600 m a jeden profil, riešený v tejto diplomovej práci, sa nachádza na chodníku zo severnej strany vozovky o dĺžke 400 m. Vzhľadom na účel a rozsah diplomovej práce bol profil obmedzený na 200 m, ktoré sú dostačujúce na porovnanie presnosti metód na zameranie nerovností. Pre lepšie priradenie podrobných

bodov boli každých 10 m stabilizované body nastrelovacími klincami. Spolu s pozdĺžnym profilom bolo vybraných a vyhodnotených aj 11 priečných profilov.



Obrázok 23 Projekt Novolišeňská

Povrch chodníka bol tvorený asfaltom, pričom prvých 30 m profilu bol asfalt zrnitejší s väčšími časticami, čo spôsobilo nejednoznačnosť priradenia podrobných bodov v tejto časti. Na obrázku 24 je vidno rozdiel povrchov, bledší menej kvalitný a tmavší kvalitnejší.



Obrázok 24 Rozdiel povrchov [25]

Ďalším problémom pri zameraní profilu bol fakt, že počas merania jednotlivými metódami, ktoré neprebiehali v jeden deň, ale v priebehu približne 1 mesiaca, začali

stavebné práce pri výstavbe nového trolejového vedenia na ulici Novolíšeňská, čo spôsobilo mierne obmedzenie merania statickým skenerom a multistanicou. Vzhľadom na skutočnosť, že v miestach nových stĺpov boli z dôvodu bezpečnosti skonštruované oplotenia, ktoré sčasti zasahovali do profilu, mohli byť výsledné mračná bodov ovplyvnené šumom. Toto bol našťastie prípad minima bodov, ktoré boli z vyhodnotenia vylúčené. Spomínané stavebné práce neovplyvnili polohu ani výšku stabilizovaných bodov profilu ani bodového poľa.

3.1.1 Bodové pole a jeho výškové overenie

Bodové pole je tvorené 9 stabilizovanými bodmi na chodníkoch z oboch strán vozovky, z ktorých na meranie sledovaného profilu boli použité 4. Vzhľadom na to, že pri meraní profilov je najdôležitejším faktorom presnosť výšok, boli tieto body vzájomne výškovo premerané presnou niveláciou za pomoci nivelačného prístroja Trimble DiNi a invarovej laty. Presnosť prevýšení v nivelačných oddieloch bola posúdená medznou odchýlkou rozdielu merania tam a späť podľa vzorca

$$\delta_U = 3 * \sqrt{R}, R - \text{dĺžka oddielu.} \quad (3.1)$$

Meranie bolo vyrovnané ako voľná sieť v programe G-net, kde ako približné súradnice boli použité výšky nulte etapy. Pre ďalšiu prácu boli použité vyrovnané výšky bodov, ktoré boli určené s presnosťou vyjadrenou strednou chybou výšky $\sigma_{BP} = 0,19 \text{ mm}$.

Bod A	Bod B	Tam [m]	Späť [m]	Dĺžka [m]	Tam - späť [m]	δ_U [m]
4002	4003	0,74537	-0,74526	120,51	0,00011	0,00104
4002	4004	3,5621	-3,56179	244,63	0,00031	0,00148
4002	4005	9,0445	-9,04434	379,11	0,00016	0,00185
4003	4004	2,81673	-2,81653	124,12	0,00020	0,00106
4003	4005	8,29913	-8,29908	258,60	0,00005	0,00153
4004	4005	5,4824	-5,48255	134,48	-0,00015	0,00110

Tabuľka 4 Vyhodnotenie oddielov medzi bodmi bodového poľa

BOD	Etapa 0 (4.3. 2019) [m]	Etapa 1 (22.03.2019) [m]	ΔH [m]
4002	267,3723	267,3734	-0,0011
4003	268,1189	268,1187	0,0002
4004	270,9352	270,9354	-0,0002
4005	276,4189	276,4178	0,0011

Tabuľka 5 Porovnanie výšok v etape 0 a 1

3.2 Použité metódy

V kapitole 1 bolo popísaných množstvo metód vhodných na zameranie povrchu vozovky za účelom určenia parametrov nerovností, no vzhľadom na časovú náročnosť a rozsah práce nebolo možné použiť všetky. Boli použité klasické a moderné metódy zastúpené v ČSN 73 6175, ale aj navrhované alternatívne metódy, ktoré by mohli nájsť využitie v meraní nerovností povrchu vozovky. Presná nivelácia a meranie cestnou latou sú zástupcami klasických metód, z moderných je to profilomer Dipstick a použitými alternatívnymi technológiami boli totálna stanica, statický skener a multistanica.

3.2.1 Presná nivelácia

Presná nivelácia je klasickou metódou zahrnutou medzi metódy na zameranie nerovností povrchu vozovky v ČSN 73 6175. Patrí medzi technológie 1. triedy presnosti a môžu byť ňou kalibrované ostatné prístroje, používané na zameranie nerovností. Práve z toho dôvodu bol pozdĺžny profil zameraný presnou niveláciou považovaný za referenčný a teda sa k nemu vzťahujú relatívne presnosti ostatných použitých metód.

3.2.1.1 Prístroj

Na zameranie referenčného pozdĺžneho profilu bol použitý digitálny nivelačný prístroj Trimble DiNi v kombinácii s invarovou kódovou latou. Presnosť zamerania prevýšení je stanovená strednou kilometrovou chybou, ktorá pri použití s invarovou latou dosahuje hodnotu 0,3 mm/km. Prístroj dokáže merať aj vzdialenosti s presnosťou 20 mm, čo poskytuje výhodu pri určovaní medzných odchýlok uzáverov meraní. Trimble DiNi zodpovedá požiadavkám presnej nivelácie, takže ním boli premerané aj body bodového poľa.



Obrázok 25 Trimble DiNi 03 [26]

3.2.1.2 Postup

Meranie nivelačným prístrojom zodpovedajúce požiadavkám presnej nivelácie vyžaduje pred samotným meraním jeho justáž. Trimble DiNi poskytuje vo svojom softwarovom vybavení viaceré možnosti, jednou z nich je aj Kukkamakiho metóda. Práve tá bola použitá na kalibráciu. Jej cieľom je zaistiť hlavnú osovú podmienku L (os nivelačnej libely) rovnobežne so Z (os zámernej priamky ďalekohľadu). [27] Prístroj sa postavil do stredu medzi 2 laty vzdialené 30 m a zmeralo sa prevýšenie medzi latami. Následne sa prístroj postavil za jednu z latí, zmeralo sa prevýšenie a z rozdielu týchto prevýšení sa vypočítala chyba z nevodorovnosti zámernej priamky. Tá bola zapísaná do prístroja, ktorému tak bola prevedená justáž. Následná skúška prístroja vykazovala takmer zanedbateľné hodnoty chyby z nevodorovnosti, takže sme mohli pristúpiť k meraniu.

Postavenie	Čítanie na lati [m]		Dĺžka [m]		Prevýšenie BA [m]	Rozdiel [mm]
	A	B	A	B		
Medzi A, B	1,74915	1,39371	14,96	15,37	0,35545	0,70
Za B	1,94762	1,59287	33,34	3,01	0,35475	

Tabuľka 6 Skúška prístroja pred justážou

Justáž – sklon zámernej priamky = -28^{cc}

Postavenie	Čítanie na lati [m]		Dĺžka [m]		Prevýšenie BA [m]	Rozdiel [mm]
	A	B	A	B		
Medzi A, B	1,73405	1,37863	15,22	15,08	0,35542	-0,08
Za B	1,86071	1,50521	33,69	3,37	0,35551	

Tabuľka 7 Skúška prístroja po justáži

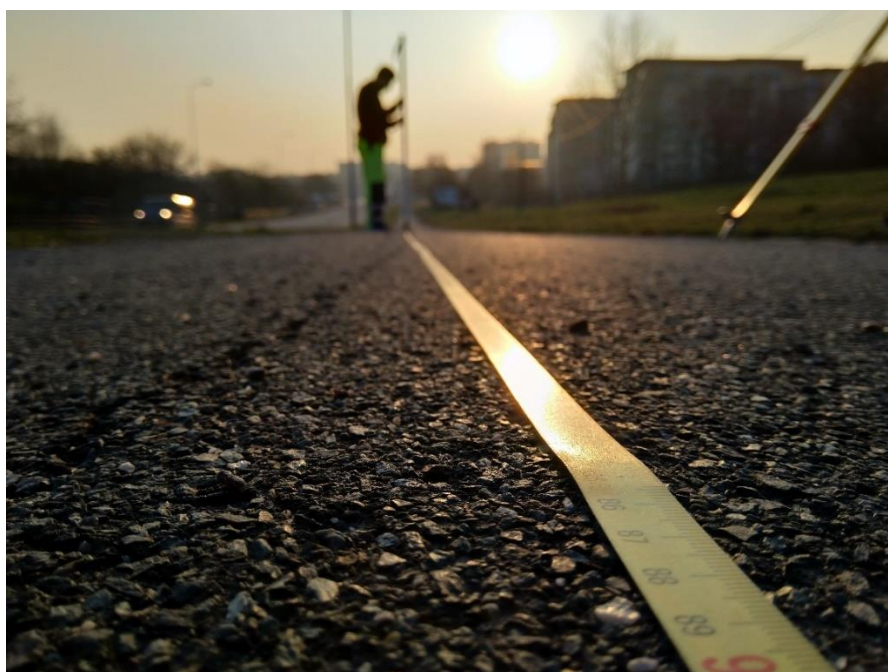
Z dôvodu jednoznačnej identifikácie bodov profilu, bolo medzi každými 10 metrami profilu natiahnuté pásmo, čím boli stanovené merané polohy bodov profilu. Vzhľadom na členitosť asfaltu by meranie kódovou latou s klasickou pätkou nebolo možné, keďže priradenie bodov by mohlo byť chybné, tak bol na pätku pripevnený kovový okrúhly nadstavce. Bolo zmerané odsadenie tohto nadstavca, pretože na bodoch bodového poľa nebol použitý.

Meranie	Bez nadstavca	S nadstavcom	Offset [m]	ϕ [m]
1.	1,54870	1,51879	0,02991	0,02983
2.	1,28523	1,25548	0,02975	

Tabuľka 8 Offset okrúhleho nadstavca



Obrázok 26 Okrúhly nadstavec na pätku laty



Obrázok 27 Rozmeranie profilu pásmom [25]

Meranie bolo rozdelené na 12 ťahov o maximálnej dĺžke 23 m, pričom bolo použitých 10 pomocných stabilizovaných bodov. Nivelačné zostavy boli merané spôsobom ZZVV, teda 2 krát meranie na latu vzad a 2 krát vpred. Každých 20 metrov bol stabilizovaný bod zameraný 2 krát pre porovnanie medzi ťahmi. Pozdĺžny profil bol zameraný sériami bočných zámer. Krok vzorkovania bol 250 mm. Uzávery jednotlivých ťahov na bodoch bodového poľa boli vždy vypočítané softwarom prístroja a splňovali dovolené medzné odchýlky. Následne bol z prístroja vyexportovaný zápisník meraných

hodnôt, z ktorého pokračoval výpočet výšok podrobných bodov profilu. Tie boli vypočítané mimo prostredia prístroja, pretože do prístroja neboli zadané absolútne výšky a zároveň ich bolo potrebné opraviť o offset nadstavca.

3.2.1.3 Výsledky

Výsledným produktom nivelácie je postupnosť výšok s krokom 250 mm, z ktorých je následne možné vytvoriť grafickú interpretáciu pozdĺžneho profilu chodníka. Spoločne s vytvorením profilu bolo nutné stanoviť presnosť určenia podrobného bodu, ktorá zohľadňuje všetky vplyvy pôsobiace pri určení výšky bodu. Takto určený profil je považovaný za referenčný, takže sa k nemu budú vzťahovať relatívne presnosti ostatných metód.

Odhad presnosti určenia podrobného bodu

Vzhľadom na rozdiel povrchov na prvých 30 metroch profilu boli stanovené 2 hodnoty presnosti určenia podrobných bodov, pretože priradenie laty na rozbitom povrchu nie je jednoznačné. Zároveň bola stanovená hodnota presnosti určenia stabilizovaných bodov, ktoré sa nachádzajú v profile každých 10 metrov, keďže na tie vplyv povrchu teoreticky nevplyva.

Výpočet presnosti určenia podrobného bodu		kvalitný povrch		členitý povrch	
Neistota bodového poľa (z vyrovnania)	m_{bp}	0,19 mm			
Presnosť obojsmerne meraného prevýšenia	m_0	0,70 mm/km			
Presnosť jednosmerne meraného prevýšenia	$m_1 = m_0 * \sqrt{2}$	0,99 mm/km			
Maximálna dĺžka oddielu	R	70 m			
Presnosť jednosmerne meraného prevýšenia v oddieli	$m_{PN} = m_1 * \sqrt{R}$	0,26 mm			
Pozdĺžna neistota priradenia bodu	m_d	7,00 mm			
Maximálny sklon profilu resp. maximálny skok na bodoch na rozbitom povrchu	α	4,50	g	15,00	g
Neistota priradenia bodu	$m_p = m_d * \tan \alpha$	0,35	mm	1,20	mm
Presnosť určenia podrobného bodu	$m_{PNb} = \sqrt{m_{bp}^2 + m_{PN}^2 + m_p^2}$	0,48	mm	1,24	mm

Tabuľka 9 Výpočet presnosti určenia podrobného bodu presnou niveláciou

Presnosť určenia stabilizovaného bodu	$m_{sb} = \sqrt{m_{bp}^2 + m_{pN}^2}$	0,32	mm
Medzná hodnota určenia stabilizovaného bodu	$\delta_{sb} = 2 * m_{sb}$	0,64	mm

Tabuľka 10 Výpočet presnosti určenia stabilizovaného bodu presnou niveláciou

Posúdenie presnosti merania

Presnosť merania bola vyhodnotená na základe dvojitého nezávislého zamerania stabilizovaných bodov pozdĺžneho profilu v dvoch samostatných ťahoch. Tá nesmela prekročiť medznú hodnotu rozdielu dvojitého určenia stabilizovaného bodu, ktorá bola vypočítaná podľa vzorca

$$\delta_{2sb} = \delta_{sb} * \sqrt{2}. \quad (3.2)$$

Stan. [m]	1. určenie [m]	2. určenie [m]	rozdiel [mm]	δ_{2sb} [mm]	
500	267,7411	267,7405	0,6	0,9	vyhovuje
520	268,0279	268,0287	-0,8	0,9	vyhovuje
540	268,4280	268,4283	-0,3	0,9	vyhovuje
560	268,9846	268,9845	0,1	0,9	vyhovuje
580	269,6509	269,6507	0,2	0,9	vyhovuje
600	270,3649	270,3648	0,1	0,9	vyhovuje
620	271,1244	271,1235	0,9	0,9	vyhovuje
660	273,1430	273,1430	0,0	0,9	vyhovuje

Tabuľka 11 Vyhodnotenie presnosti merania presnou niveláciou

Pozdĺžny profil

Grafickým znázornením postupnosti výšok je výsledný pozdĺžny profil, ktorý je považovaný za referenčný. Na profile je dobre vidieť rozdiel povrchu na prvých 30 metroch, kde je profil hrboľatejší. Priebeh profilu je číselne dokumentovaný v digitálnej prílohe č. 1. Vizualizáciu profilu možno vidieť v prílohe č. 2.

3.2.2 Profilomer

Existujú rôzne druhy profilomerov, ktoré sú vhodné na meranie nerovností povrchu vozovky. Jedným z nich je ručný profilomer Dipstick, ktorý bol v tomto prípade použitý na zameranie priečných profilov. Patrí medzi meracie zariadenia 1. triedy presnosti a preto takto zamerané profily považujeme za referenčné. Táto technológia bola poskytnutá vedúcim práce.

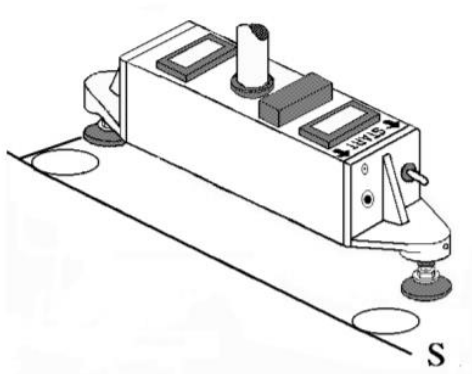
3.2.2.1 Prístroj

Základnou súčasťou profilomeru Dipstick je inklinomer, ktorý meria sklon medzi dvomi voľne upevnenými nohami vzdialenými 250 mm. Namerané dáta sú

zaznamenávané softwarom v tablete pripevnenom na kovovej rukoväti, na konci ktorej je guľa, pomocou ktorej sa spúšťa meranie. Jeho výhodou je možnosť vygenerovať profily priamo v teréne na monitore tabletu. Podrobnejší popis je v kapitole 2.3.3.1.

3.2.2.2 Postup

Pred meraním jednotlivých profilov bol prístroj kalibrovaný na dvoch rovných povrchoch, čím bolo zabezpečené rovnaké čítanie oboma smermi merania prístrojom. Prístroj sa postavil dva krát na rovnaké miesto v 1. a 2. reverznej polohe, tento proces nazývame vynulovanie.



Obrázok 28 Princíp vynulovania Dipsticku [28]

Každému priečnemu profilu boli vytýčené a fixkou označené jeho konce, takže bolo možné natiahnuť špagát pre udržanie priamky profilu. Následne sme mohli pristúpiť k meraniu Dipstickom, ktorý má zabudovaný software RoadFace slúžiaci na riadenie merania. Proces merania spočíval v otáčaní prístroja okolo jednej nohy, ktorá musela zostať pevná. Rozpätie nôh bolo nastavené na 250 mm.

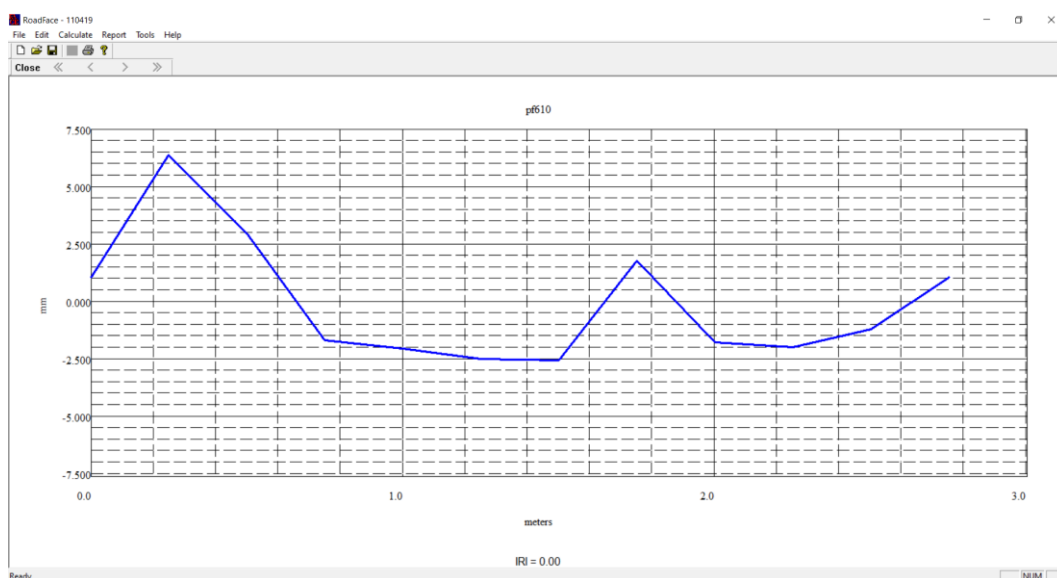


Obrázok 29 Meranie Dipstickom [25]

Software RoadFace taktiež slúži na vytvorenie profilov či výpočet IRI priamo v teréne. Pomocou neho boli exportované súbory obsahujúce staničenia jednotlivých meraných bodov, čítanie na inklinometri a sklon medzi nohami v danej pozícii prístroja. Na základe toho boli vytvorené profile, ktoré boli následne transformované do absolútnych výšok určených presnou niveláciou.

Data Listing		Job Name:	110419
		Run Name:	pf610
Step	Dist (meters)	Reading	Elevation (mm)
0			1.1
1	0.25	11.3	6.4
2	0.50	2.7	3.0
3	0.75	1.4	-1.6
4	1.00	5.7	-2.0
5	1.25	5.6	-2.4
6	1.50	6.0	-2.5
7	1.75	10.3	1.8
8	2.00	2.5	-1.7
9	2.25	5.8	-1.9
10	2.50	6.8	-1.1
11	2.75	8.2	1.1

Obrázok 30 Vzor exportu zo softwaru RoadFace



Obrázok 31 Vzor vyhotoveného profilu softwarom RoadFace

3.2.2.3 Výsledky

Výsledným produktom merania profilomerom Dipstick je postupnosť výšok s krokom 250 mm, tvoriacich 11 priečných profilov každých 20 metrov. Vzhľadom na 1. triedu presnosti tejto technológie sú priečne profile považované za referenčné.

V nasledujúcich odstavcoch je vypočítaná presnosť určenia podrobného bodu touto technológiou ako aj vnútorná presnosť merania.

Odhad presnosti určenia podrobného bodu

Priečne profily sa nachádzali na oboch typoch povrchov, takže boli vyhodnotené dve hodnoty presnosti určenia podrobných bodov. Pri výpočte boli zahrnuté vplyv presnosti prístroja, vplyv výšky bodu, na ktorý bol profil transformovaný a vplyv neistoty polohového priradenia nôh prístroja k línii profilu, spôsobená neistotou vytýčenia koncových bodov a neistotou priloženia špagátu.

Výpočet presnosti určenia podrobného bodu		kvalitný povrch		členitý povrch	
Neistota Dipsticku	m_{DS}	0,025 mm/krok			
Neistota Dipsticku pri 11 krokoch	$m_{DS11} = \sqrt{11} * m_{DS}$	0,08 mm			
Neistota bodu transformácie	m_{sb}	0,32 mm			
Presnosť priradenia nôh prístroja	m_{noh}	5 mm			
Maximálny sklon profilu resp. maximálny skok na bodoch na rozbitom povrchu	α	4,50	g	15,00	g
Neistota priradenia bodu	$m_{DSp} = m_{noh} * \tan \alpha$	0,4	mm	1,2	mm
Presnosť určenia podrobného bodu	$m_{DSb} = \sqrt{m_{DS11}^2 + m_{sb}^2 + m_{DSp}^2}$	0,5	mm	1,3	mm

Tabuľka 12 Výpočet presnosti určenia podrobného bodu profilomerom Dipstick

Posúdenie presnosti merania

Presnosť merania bola vyhodnotená na základe jedného zameraného obojstranného ťahu profilomerom Dipstick, ktorý poskytol dvojité zameranie 11 bodov profilu. Ten sa nachádzal na kvalitnejšom povrchu. Rozdiely vo výškach jednotlivých bodov by nemali prekročiť hodnotu medznej odchýlky rozdielu dva krát určeného bodu profilomerom Dipstick, vypočítanou podľa vzorca

$$\delta_{2DSb} = 2\sqrt{2} * m_{DSb}, \quad (3.3)$$

PF690 obojsmerný		Výška na osi =		275,0646 m		
Staničenie [m]	Prevýšenia tam [mm]	Prevýšenia späť [mm]	Výška tam [m]	Výška späť [m]	Δ_{2DS} [mm]	δ_{2DSb} [mm]
-2,00	-23,5	-22	275,0234	275,0247	-1,3	1,4
-1,75	-21,7	-19,7	275,0252	275,0270	-1,8	1,4
-1,50	-16,5	-14,9	275,0304	275,0318	-1,4	1,4
-1,25	-12,2	-10,6	275,0347	275,0361	-1,4	1,4
-1,00	-6,4	-4,8	275,0405	275,0419	-1,4	1,4
-0,75	3,4	4,6	275,0503	275,0513	-1,0	1,4
-0,50	9,1	9,8	275,0560	275,0565	-0,5	1,4
-0,25	13,2	13,2	275,0601	275,0599	0,2	1,4
0,00	17,7	17,9	275,0646	275,0646	0,0	1,4
0,25	13,8	14,2	275,0607	275,0609	-0,2	1,4
0,50	16,4	16,3	275,0633	275,0630	0,3	1,4

Tabuľka 13 Vyhodnotenie presnosti merania profilomerom Dipstick

Priečne profily

Grafickým znázornením postupnosti výšok sú výsledné priečne profily, ktoré sú považované za referenčné. Priebeh profilu je číselne dokumentovaný v digitálnej prílohe 01.2. Vizualizáciu profilov možno vidieť v prílohe č. 2.

3.2.3 Cestná lata

Cestná lata je jednou z najpoužívanějších technológií na zameranie nerovností, napriek tomu že výber meraných miest je subjektívny a výsledné hodnoty neposkytujú profil ako celok. V praxi je dôležitá, pretože v prípade sporu je rozhodujúca. Spolu s meračským klinom bola zapožičaná od vedúceho práce. Táto technológia bola použitá na zameranie pozdĺžnych aj priečných nerovností.

3.2.3.1 Prístroj

V tomto prípade nemôžeme hovoriť o prístroji ale skôr nástroji, keďže bola použitá iba duralová lata a meračský klin. Tie sú popísané v kapitole 2.3.2.2. Bola použitá dvojdielna lata, pričom každý diel mal dĺžku 2 m, pre možnosť zamerania pozdĺžnych aj priečných nerovností.

3.2.3.2 Postup

Pozdĺžny profil nebol zameraný ako celok. Boli vizuálne určené miesta s pravdepodobne najväčšími hodnotami nerovností a tie boli následne zamerané. Medzi stabilizovanými bodmi na profile (každých 10 m), medzi ktorými sa nachádzalo vizuálne určené miesto, bolo natiahnuté pásmo pre správne priradenie staničenia nerovnosti. Tie

boli zamerané latou o dĺžke 4 m pomocou meračského klinu. Zároveň boli zapísané staničenia dotkových bodov laty s terénom ako aj staničenie meranej nerovnosti.

Nerovnosti na jednotlivých priečných profiloch boli zamerané latou polovičnej dĺžky, teda 2 m. Pred meraním boli vytýčené body koncov profilov, tie boli označené fixou a medzi ne bol natiahnutý špagát, kvôli správnej polohe laty, vid' obrázok 32. Na každom profile bolo určené jedno alebo dve miesta maximálnej nerovnosti. Podobne ako pri pozdĺžnom profile boli zapísané staničenia dotkových bodov a meranej nerovnosti, pričom tie boli zamerané samotnou latou, na ktorej sa nachádzajú rysky po 10 cm.



Obrázok 32 Cestná lata s meračským klinom [25]

3.2.3.3 Výsledky

Výsledkom merania cestnou latou, na rozdiel od ostatných metód, nie je postupnosť výšok, ale priamo nerovnosti povrchu vozovky. Sú to hodnoty maximálnej dvojamplitúdy meranej latou 4 m, na pozdĺžnom profile, resp. 2 m, na priečných profiloch. Vzhľadom na túto skutočnosť bola vyhodnotená iba presnosť určenia tohto parametru nerovnosti cestnou latou. Výsledky merania a empirické odhady charakteristík presnosti sú prezentované na úrovni parametrov nerovností v kapitolách 4.2.5 a 4.3.4.

Odhad presnosti určenia nerovnosti cestnou latou

Napriek skutočnosti, že latou bol pozdĺžny profil zameraný až na kvalitnejšom povrchu, priečne profily boli merané aj na rozbitom, takže boli taktiež určené dve hodnoty presnosti určenia spomínaného parametru. Neistota cestnej laty bola stanovená na 1 mm a pre priradenie bodov platia rovnaké podmienky ako pri meraní profilomerom Dipstick.

Výpočet presnosti určenia nerovnosti latou		kvalitný povrch		členitý povrch	
Neistota merania cestnou latou	m_{CL}	1 mm			
Neistota priradenia bodu (ako Dipstick)	m_{CLp}	0,4	mm	1,2	mm
Presnosť určenia nerovnosti latou	$m_{CLb} = \sqrt{m_{CL}^2 + m_{CLp}^2}$	1,1	mm	1,6	mm

Tabuľka 14 Výpočet presnosti určenia nerovnosti cestnou latou

3.2.4 Priestorová polárna metóda totálnou stanicou

Priestorová polárna metóda je v geodézii bežne používaná, no na zameranie nerovností povrchov sa nepoužíva, aj keď presné zameranie výškových profilov je jej častým využitím. Práve preto bola táto metóda zvolená ako jedna z experimentálnych, aby bola zistená jej využiteľnosť pri zameraní nerovností.



Obrázok 33 Trimble S8 [29]

3.2.4.1 Prístroj

Na zameranie pozdĺžneho profilu bola použitá totálna stanica Trimble S8 s možnosťou autolokácie na cieľ, čo zabezpečilo presné výškové meranie. Totálna stanica

poskytuje možnosti hranolového aj bezhranolového módu. Výrobca udáva presnosť uhlového merania 1“ a presnosť dĺžkového merania 2 mm + 2 ppm. [29] Prístroj ponúka prácu v robotickom režime, ale tá bohužiaľ nebola možná kvôli nefunkčnosti diaľkového ovládača a absencii správneho hranolu. Prístroj mi bol poskytnutý výskumným ústavom Admas.

3.2.4.2 Postup

Pri meraní totálnou stanicou je dôležité nastavenie prístroja. Kvôli eliminácii vplyvov vonkajšieho prostredia bola do prístroja zadaná teplota a tlak okolia, čím sa prepočítala korekcia meranej dĺžky. Bola vykonaná justáž pre minimalizáciu osových chýb prístroja a kontrola súčtovej konštanty použitého hranolu, ktorá zostala nezmenená na hodnote -30 mm. Pozdĺžny profil bol zameraný z 3 prechodných stanovísk, ktoré boli vytvorené vždy z 3 bodov bodového poľa. Podobne ako pri nivelácii bolo na jednotlivých úsekoch natiiahnuté pásmo pre správne priradenie bodov. Krok vzorkovania bol 250 mm. Pre kontrolu boli zamerané prekrytové body. Bol vyexportovaný zápisník, ktorý obsahoval vyhodnotené prechodné stanoviská a zamerané body, ktorých výšky boli použité na ďalšie výpočty a porovnania. Pomocou Trimble S8 boli zároveň vytýčené body koncov priečných profilov, pre správne priradenie pri meraní ostatnými technológiami a zamerané guľe pre prepojenie skenov pri statickom skenovaní.



Obrázok 34 Meranie s Trimble S8 [25]

3.2.4.3 Výsledky

Výsledným produktom zamerania totálnou stanicou je rovnako ako pri nivelácii postupnosť výšok s krokom 250 mm tvoriacich pozdĺžny profil chodníka. Spolu s vytvoreným profilom bola stanovená presnosť určenia podrobného bodu touto metódou.

Odhad presnosti určenia podrobného bodu

Rovnako ako pri nivelácii boli určené dve hodnoty presnosti určenia podrobného bodu, pre rozbitý asfalt a pre kvalitnejší asfalt. Taktiež bola vyhodnotená presnosť určenia stabilizovaných bodov. Výpočet týchto neistôt zohľadňuje rôzne aspekty pôsobiace na presnosť. Jedná sa o neistotu bodového poľa, výškového horizontu prístroja, neistotu priradenia, či neistotu metódy, ktorá bola vypočítaná na základe vzorcov nachádzajúcich sa v [30].

Výpočet presnosti určenia podrobného bodu		kvalitný povrch		členitý povrch	
Neistota bodového poľa (z vyrovnania)	m_{bp}	0,2 mm			
Uhlová presnosť prístroja	m_u	1" (0,3 mgon)			
Dĺžková presnosť prístroja	m_{ppm}	2 mm + 2 ppm			
Neistota trigonometrického určenia prevýšení (podľa [30])	m_{TS}	0,6 mm			
Počet bodov BP na určenie prechodného stanoviska	n	3			
Neistota výškového horizontu	$m_{VH} = \sqrt{\frac{m_{bp}^2 + m_{TS}^2}{n}}$	0,4 mm			
Neistota priradenia bodu (ako nivelácia)	m_p	0,35	mm	1,20	mm
Presnosť určenia podrobného bodu	$m_{TSb} = \sqrt{m_{VH}^2 + m_{TS}^2 + m_p^2}$	0,8	mm	1,4	mm

Tabuľka 15 Výpočet presnosti určenia podrobného bodu totálnou stanicou

Presnosť určenia stabilizovaného bodu	$m_{sb} = \sqrt{m_{VH}^2 + m_{TS}^2}$	0,7	mm
Medzná hodnota určenia stabilizovaného bodu	$\delta_{sb} = 2 * m_{sb}$	1,4	mm

Tabuľka 16 Výpočet presnosti určenia stabilizovaného bodu totálnou stanicou

Posúdenie presnosti merania

Presnosť merania bola vyhodnotená na základe zamerania stabilizovaných bodov z dvoch stanovísk. Tá nesmela prekročiť medznú hodnotu rozdielu dvojitého určenia stabilizovaného bodu, ktorá bola vypočítaná podľa vzorca 3.2.

Stan. [m]	1. určenie [m]	2. určenie [m]	rozdiel [mm]	δ_{2sb} [mm]
490	267,608	267,609	-1	2
500	267,711	267,711	0	2
580	269,621	269,621	0	2
590	269,974	269,973	1	2
600	270,336	270,335	1	2
610	270,703	270,701	2	2

Tabuľka 17 Vyhodnotenie presnosti merania totálnou stanicou

Pozdĺžny profil

Grafickým znázornením postupnosti výšok je výsledný pozdĺžny profil. Vzhľadom na dĺžku a podrobnosť profilu by nebolo účelné porovnávať profil graficky s referenčným profilom, pretože odchýlky by v danej mierke boli nebadateľné. Priebeh profilu číselne dokumentuje digitálna príloha č. 1.

Porovnanie s referenčným profilom

Profil zameraný totálnou stanicou je možné porovnať s referenčným profilom v každom zameranom bode, čím sme získali postupnosť odchýlok na, základe ktorých je možné vytvoriť graf tesnosti dvoch metód. Ten sa nachádza v prílohe 03.1. Z grafu možno vidieť, že presnosť výšok, pri takto krátkych zámerách, nie je zásadne ovplyvnená vzdialenosťou od stanoviska a zároveň, že presnosť bodov na rozbitom asfalte je výrazne horšia z dôvodu nejednoznačnosti priradenia bodov. Hodnoty odchýlok na kvalitnejšom povrchu sa pohybujú na intervale $\langle -4; 2 \rangle$, kdežto hodnoty na členitom povrchu dosahujú takmer až 4x vyšších hodnôt. Bola vypočítaná medzná hodnota rozdielu dvojitého určenia podrobného bodu zameraného presnou niveláciou a totálnou stanicou pre oba povrchy podľa vzorca

$$\delta_{PNTS} = 2 * \sqrt{m_{PNb}^2 + m_{TSb}^2}, \quad (3.4)$$

na základe ktorej boli posúdené odchýlky od referenčnej metódy.

Medzná hodnota rozdielu dvojitého určenia podrobného bodu zameraného presnou niveláciou a totálnou stanicou	kvalitný povrch		členitý povrch	
δ_{PNTS}	2	mm	4	mm

Tabuľka 18 Hodnoty δ_{PNTS}

Na grafe možno vidieť, že väčšina odchýlok neprekračuje medznú hodnotu. Zároveň je v súbore mnoho bodov, ktoré ale tieto hodnoty prekračujú, čo je pravdepodobne spôsobené faktom, že neistota priradenia je v skutočnosti vyššia ako teoreticky stanovená. Pre účely empirického odhadu presnosti výškového určenia bodov

budú body určené referenčnou metódou považované za bezchybné. Z rozdielov výšok na jednotlivých bodoch na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia výšok posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca

$$S_{TS} = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n}}, n - \text{počet dvojíc} \quad (3.5).$$

$$S_{TS} = 1,1 \text{ mm}$$

3.2.5 Statický skener

Technológia statického skenovania je oproti ostatným technológiám relatívne nová. Jej použitie v praxi ešte len nachádza najvhodnejšie využitie a v mnohých odvetviach smeruje do popredia. Táto technológia je stále dostupnejšia a dostupnejšia, preto bola zvolená jednou z experimentálnych metód práve ona.



Obrázok 35 Faro Focus 3D [32] a vličovacie gule [33]

3.2.5.1 Prístroj

Na zameranie povrchu chodníka bol použitý statický skener Faro Focus 3D, ktorý využíva laserovú technológiu k vytvoreniu presného priestorového modelu behom pár minút. Pracuje na princípe merania fázového posunu odrazeného laserového lúču od objektu, z ktorého prepočítava dĺžku k objektu. Zrkadlo rotuje okolo horizontálnej osi prístroja, čím sa získavajú vertikálne uhly, pod ktorými sú body zamerané. Zároveň motorček otáča skener okolo zvislej osi, čím sa zabezpečuje 360° meranie. Skener počas merania určuje reflektivitu objektu, na základe ktorej priradzuje skenu odtiene sivej farby.

Zároveň dokáže zhotoviť fotografie skenovaného objektu, čo umožní následné priradenie reálnych farieb. Meria rýchlosťou 1 milión bodov za sekundu, čoho výsledkom je husté mračno bodov, ktoré je uložené na pamäťovej karte. Skener je vybavený dotykovým displejom, z ktorého je skenovanie riadené. [31] Spolu so skenerom je nevyhnutné použitie vlicovacích plôch, terčov alebo gúľ, pomocou ktorých sú jednotlivé skeny spojené v jedno mračno. Boli použité 4 takéto gule o priemere 200 mm.

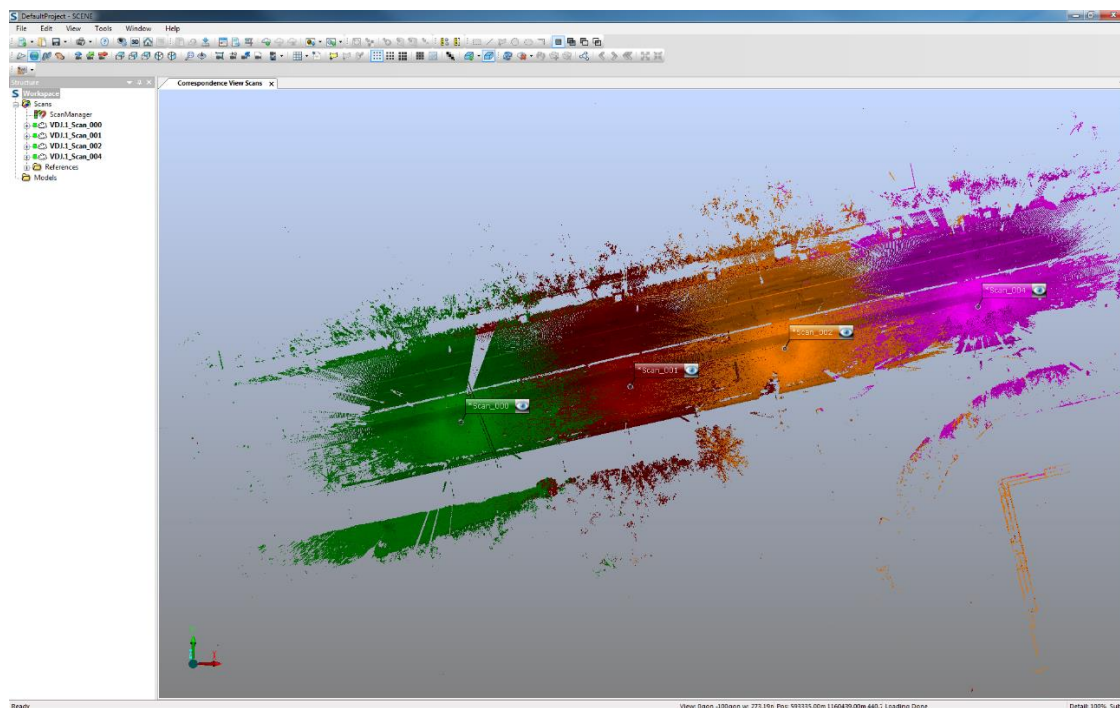
3.2.5.2 Postup

Povrch chodníka bol zameraný zo 4 stanovísk skenera, pričom každé stanovisko malo vo svojom rozsahu rovnomerne rozmiestnené 4 vlicovacie gule na statívoch. Zároveň boli vždy dve gule zamerané z dvoch pozícií skeneru pre následné spojenie mračen bodov. Guliam boli určené súradnice x , y , z polárnou metódou pomocou totálnej stanice Trimble S8 z prechodného stanoviska, určeného z bodov bodového poľa. Na každom stanovisku museli byť skeneru nastavené správne parametre. Na dotykovom displeji boli nastavené parametre ako rozlíšenie, rozstup skenovaných bodov či počet opakovaní merania vzdialenosti každého bodu. Bol zvolený kompromis na dostatočnú kvalitu mračna a zároveň prijateľný časový rozsah.



Obrázok 36 Skenovanie pomocou Faro Focus 3D [25]

Po zameraní mračien bodov boli dáta exportované zo skeneru vo formáte .fls ako jednotlivé súbory. Bolo dôležité zvoliť správny software na ich spracovanie. Bohužiaľ na počítačoch na fakulte nebol dostupný žiadny, ktorý by poskytoval prácu so súbormi v tomto formáte a ani žiadny nie je voľne prístupný. Tým pádom jedinou možnosťou bolo využiť priestory výskumného centra Admas, kde sa nachádzal software SCENE, ktorý je priamo určený pre prácu so skenmi s príponou .fls. Spracovaniu skenov v tomto programe by sa dala venovať celá diplomová práca a práca v ňom je veľmi zdĺhavá. Po načítaní skenov a súradníc jednotlivých vlicovacích gulí do prostredia programu, boli namerané dáta z jednotlivých stanovísk skeneru spojené v jedno mračno bodov a na základe súradníc gulí bolo mračno georeferencované do S-JTSK resp. Bpv. Takto spojené mračno bodov bolo exportované z prostredia SCENE vo formáte .pts, ktorý je možné ďalej spracovať v rozličných softwaroch.



Obrázok 37 Spojené mračno bodov

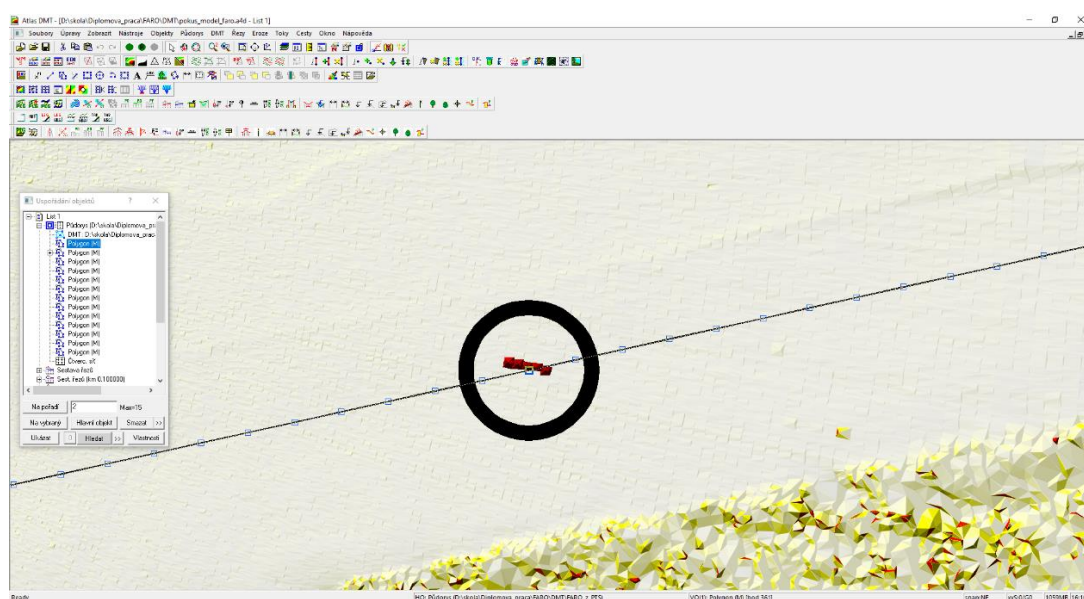
3.2.5.3 Výsledky

Výsledným produktom merania statickým skenerom je georeferencované mračno bodov, z ktorého je potrebné vytvoriť digitálny model terénu (DMT). Takto vytvorený digitálny model musí byť optimalizovaný a musia byť z neho odstránené poruchy spôsobené šumom pri meraní. Z neho je následne možné exportovať pozdĺžny či priečne profily v podobe postupností výšok. Tým bol vytvorený produkt porovnateľný

s ostatnými metódami. Podobne ako pri ostatných metódach bola spoločne s profilom vypočítaná presnosť určenia podrobného bodu, či presnosť merania.

DMT

Po pripojení výsledného mračna bodov do prostredia programu Atlas DMT bol vytvorený digitálny model terénu. Ten musel byť pred exportom profilu optimalizovaný pomocou pridania povinných hrán prípadne odstránenia chybných bodov. Následne mohli byť z DMT exportované pozdĺžny a priečne profily potrebné pre porovnanie.



Obrázok 38 Príklad chyby DMT

Odhad presností určenia podrobného bodu

V tomto prípade boli taktiež určené dve hodnoty presnosti určenia podrobného bodu, pričom neistota priradenia bodu je nahradená neistotou posunu výsledného mračna bodov, ktorý vplýva na výšku bodov rovnakým spôsobom. Ďalej sú podrobné body ovplyvnené neistotou skenovania a určenia výškového horizontu stanoviska skeneru z výšok vlíčovacích gúl.

Výpočet presnosti určenia podrobného bodu		kvalitný povrch	členitý povrch
Neistota vlíčovacích gúlí (z totálnej stanice)	$m_{vg} = m_{sb}$	0,7 mm	
Neistota skenovania	m_{ss}	2 mm	
Počet vlíčovacích gúlí použitých na pripojenie stanoviska	n_g	4	
Neistota výškového horizontu	$m_{VHS} = \sqrt{\frac{m_{vg}^2 + m_{ss}^2}{n_g}}$	1,1 mm	
Presnosť určenia podrobného bodu v jednom mračne	$m_{SSjm} = \sqrt{m_{VHS}^2 + m_{ss}^2}$	2,3 mm	
Posunutie mračien pri spojení	m_{SSpm}	5 mm	
Maximálny sklon profilu resp. maximálny skok na bodoch na rozbitom povrchu	α	4,50 ‰	15,00 ‰
Neistota výšky vplyvom posunutia	$m_{SSp} = m_{SSpm} * \tan \alpha$	0,4 mm	1,2 mm
Presnosť určenia podrobného bodu	$m_{SSb} = \sqrt{m_{SSjm}^2 + m_{SSp}^2}$	2,3 mm	2,6 mm

Tabuľka 19 Výpočet presnosti určenia podrobného bodu statickým skenerom

Posúdenie presnosti merania

Posúdenie presnosti merania bolo prevedené na základe výpočtu priestorových odchýlok na vlíčovacích guliach softwarom Scene. Tie sa pohybovali v hodnotách 1 – 7 mm, čo znamená, že výšková zložka tejto odchýlky nebola vyššia. Z toho vyplýva, že žiadna z odchýlok neprekročila medznú hodnotu vypočítanú podľa vzorca 3.2

$$\delta_{2sb} = 7 \text{ mm.}$$

Pozdĺžny a priečne profily

Rovnako ako pri totálnej stanici, pozdĺžny profil nebol porovnávaný priamo, ale iba vo forme grafu odchýlok od referenčného profilu. Priečne profily, na druhú stranu, vďaka svojej krátkej dĺžke ponúkajú možnosť priameho grafického porovnania s referenčnými profilmi. Priebeh profilov číselne dokumentuje digitálna príloha č. 1.

Porovnanie s referenčným pozdĺžnym profilom

Rovnako ako pri vyhodnotení pozdĺžneho profilu zameraného totálnou stanicou bol vytvorený graf odchýlok výšok profilu zameraného statickým skenerom od výšok referenčného profilu. Ten sa nachádza v prílohe č 3. Na grafe je vidieť vplyv vzdialenosti bodov od stanoviska, pričom takmer opisuje sínusoidu. Body, ktoré sú vzdialenejšie od

stanovísk a teda sú často na prekrytoch skenov, vykazujú vyššie odchýlky od referenčných hodnôt. Zároveň je vidieť vyšší rozptyl odchýlok na prvých 30 metroch čo súvisí s kvalitou povrchu. Hodnoty odchýlok na kvalitnejšom povrchu sa pohybujú na intervale $\langle -4;4 \rangle$, kdežto hodnoty na členitom povrchu dosahujú takmer 2x vyšších hodnôt. Bola vypočítaná medzná hodnota rozdielu dvojitého určenia podrobného bodu zameraného presnou niveláciou a statickým skenerom pre oba povrchy podľa vzorca (3.4), na základe ktorej boli vyhodnotené odchýlky od referenčného profilu.

Medzná hodnota rozdielu dvojitého určenia podrobného bodu zameraného presnou niveláciou a statickým skenerom	kvalitný povrch		členitý povrch	
δ_{PNSS}	5	mm	6	mm

Tabuľka 20 Hodnoty δ_{PNSS}

Na grafe vidieť, že odchýlka na dvoch bodoch prekračuje medznú hodnotu δ_{PNSS} , avšak tieto body sa nachádzajú na nekvalitnom povrchu, takže pre ďalší výpočet neboli použité. Pre účely empirického odhadu presnosti výškového určenia bodov budú body určené referenčnou metódou považované za bezchybné. Z rozdielov výšok na jednotlivých bodoch na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia výšok posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca (3.5).

$$S_{SSpo} = 1,3 \text{ mm}.$$

Porovnanie s referenčnými priečnymi profilmi

Priečne profily zamerané statickým skenerom boli porovnané priamo s referenčnými profilmi. Tieto porovnania sa nachádzajú v prílohe č 4. Na niektorých grafoch môžeme pozorovať, že odchýlky od referenčnej hodnoty sú na okrajových bodoch profilu vyššie, čo je spôsobené vplyvom vegetácie okolo chodníka na skenovanie. Hodnoty odchýlok na oboch povrchoch sa pohybujú na intervale $\langle -4;3 \rangle$. Hodnoty odchýlok boli porovnané s medznou hodnotou rozdielu dvojitého určenia podrobného bodu zameraného profilomerom Dipstick a statickým skenerom vypočítanou podľa vzorca (3.4).

Medzná hodnota rozdielu dvojitého určenia podrobného bodu zameraného Dipstickom a statickým skenerom	kvalitný povrch		členitý povrch	
δ_{DSSS}	5	mm	6	mm

Tabuľka 21 Hodnoty δ_{DSSS}

Na grafe vidieť, že jedna odchýlka na bode prekročila medznú hodnotu δ_{DSSS} , čo však bolo spôsobené vplyvom vegetácie na okraji chodníka. Pre účely empirického

odhadu presnosti výškového určenia bodov budú body určené referenčnou metódou považované za bezchybné. Z rozdielov výšok na jednotlivých bodoch na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia výšok posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca (3.5).

$$S_{Spr} = 1,6 \text{ mm.}$$

3.2.6 Multistanica

Meranie multistanicou je najmodernejšou z vybraných technológií. Spája výhody merania skenerom a merania totálnou stanicou, čo otvára neobmedzené možnosti využitia tejto technológie. Na zameranie nerovností môže byť vďaka svojej komplexite najvhodnejšou metódou.



Obrázok 39 Leica Nova MS60 [35]

3.2.6.1 Prístroj

Multistanice v súčasnosti nie sú bežnou technológiou a na trhu sa nevyskytuje veľa druhov. Prvá multistanica na svete bola vyrobená spoločnosťou Leica a práve ich produkt Leica Nova MS60 mi bol poskytnutý vedúcim práce a použitý na zameranie povrchu chodníka. Leica Nova MS60 ponúka spojenie robotickej totálnej stanice, s presnosťou uhlového merania 1" a dĺžkového merania 1 mm + 1,5 ppm, so skenerom

s rýchlosťou skenovania 30 000 bodov za sekundu, ktorá je ale závislá na skenovanej vzdialenosti. V prístroji je zabudovaná kamera s rozlíšením 5 MPx CMOS a rýchlosťou snímkovania 20 snímok za sekundu. Využíva software Leica Captivate, ktorý pokrýva všetky meračské úlohy. Vďaka funkciám ako ATRplus je zabezpečená presná lokácia cieľa. MS60 zároveň ponúka možnosť GNSS pripojenia, čo uľahčuje georeferencovanie. [34]

3.2.6.2 Postup

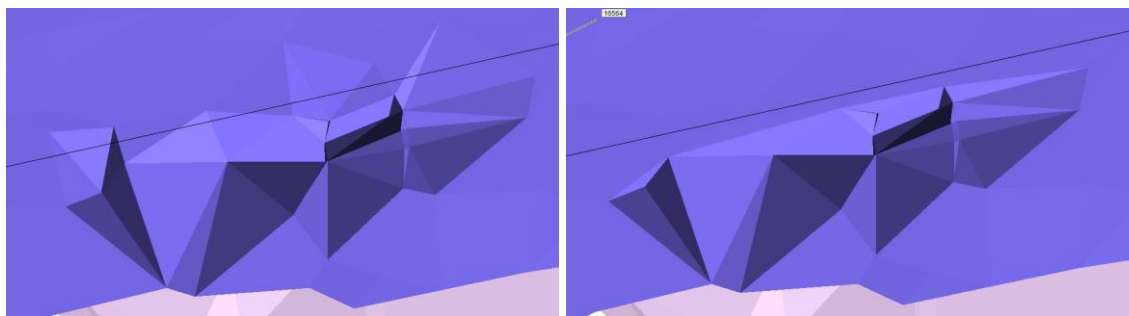
Povrch chodníka bol zameraný z 5 stanovísk multistanice. Každé stanovisko bolo určené z 3 bodov bodového poľa metódou prechodného stanoviska. Na jednotlivých stanoviskách bolo prevedených viacero skenov, ktorých rozsah a kvalita bola nastavená na každom stanovisku. Pomocou kamery a dotykového displeja boli definované oblasti pre skenovanie v rámci stanoviska a zároveň bol nastavená podrobnosť merania. Jednotlivé skeny nadobudnuté na jednom stanovisku prístroja boli spojené a vyexportované v jednom súbore s príponou .pts, takže celkovo bolo exportovaných 5 .pts súborov. Zároveň software MS60 spojil týchto 5 .pts súborov v jeden, ktorý môžeme považovať za spojené mračno bodov. Takto získané mračno bodov je georeferencované, pretože jednotlivé skeny sa nachádzajú v súradnicovej sústave stanoviska, z ktorého sú merané. Je teda možné vytvoriť digitálny model terénu priamo z dát exportovaných z multistanice.

3.2.6.3 Výsledky

Rovnako ako u statického skeneru je výsledným produktom georeferencované mračno bodov, z ktorého bol vytvorený DMT. To bolo optimalizované a vady modelu boli odstránené. Boli exportované priečne a pozdĺžny profil s výškami z modelu, ktorým bola stanovená presnosť ich určenia.

DMT

Ako pri vyhodnotení mračna bodov zo statického skeneru, tak isto aj mračno z multistanice bolo spracované v programe ATLAS DMT. Bol v ňom vygenerovaný model terénu, ktorý bolo treba optimalizovať. Optimalizácia bola vykonaná pomocou pridania povinných hrán prípadne odstránenia chybných bodov. Z takto opraveného DMT boli vyexportované výšky profilov.



Obrázok 40 Optimalizácia DMT - vľavo pred, vpravo po

Odhad presnosti určenia podrobného bodu

Podobne ako pri skeneri, bola neistota priradenia bodu nahradená neistotou posunu mračna. Presnosť určenia podrobného bodu je teda stanovená z neistoty bodového poľa, z ktorého sú vytýčené prechodné stanoviská, neistoty výškového horizontu prechodných stanovísk, neistoty skenovania a neistoty posunu mračna.

Výpočet presnosti určenia podrobného bodu		kvalitný povrch	členitý povrch
Neistota bodového poľa	m_{bp}	0,2 mm	
Uhlová presnosť prístroja	m_{uM}	1" (0,3 mgon)	
Dĺžková presnosť prístroja	m_{ppmM}	2 mm + 2 ppm	
Neistota trigonometrického určenia prevýšení (ako u totálnej stanice)	m_M	0,6 mm	
Počet bodov BP na určenie prechodného stanoviska	n	3	
Neistota výškového horizontu	$m_{VH} = \sqrt{\frac{m_{bp}^2 + m_M^2}{n}}$	0,4 mm	
Neistota skenovania	m_{MS}	1,0 mm	
Presnosť určenia podrobného bodu v jednom mračne	$m_{MSjm} = \sqrt{m_{VH}^2 + m_{MS}^2}$	1,1 mm	
Posunutie mračien pri spojení	m_{MSpm}	2 mm	
Maximálny sklon profilu resp. maximálny skok na bodoch na rozbitom povrchu	α	4,5 ‰	15,0 ‰
Neistota výšky vplyvom posunutia	$m_{MSp} = m_{MSpm} * \tan \alpha$	0,2 mm	0,5 mm
Presnosť určenia podrobného bodu	$m_{MSb} = \sqrt{m_{MSjm}^2 + m_{MSp}^2}$	1,1 mm	1,2 mm

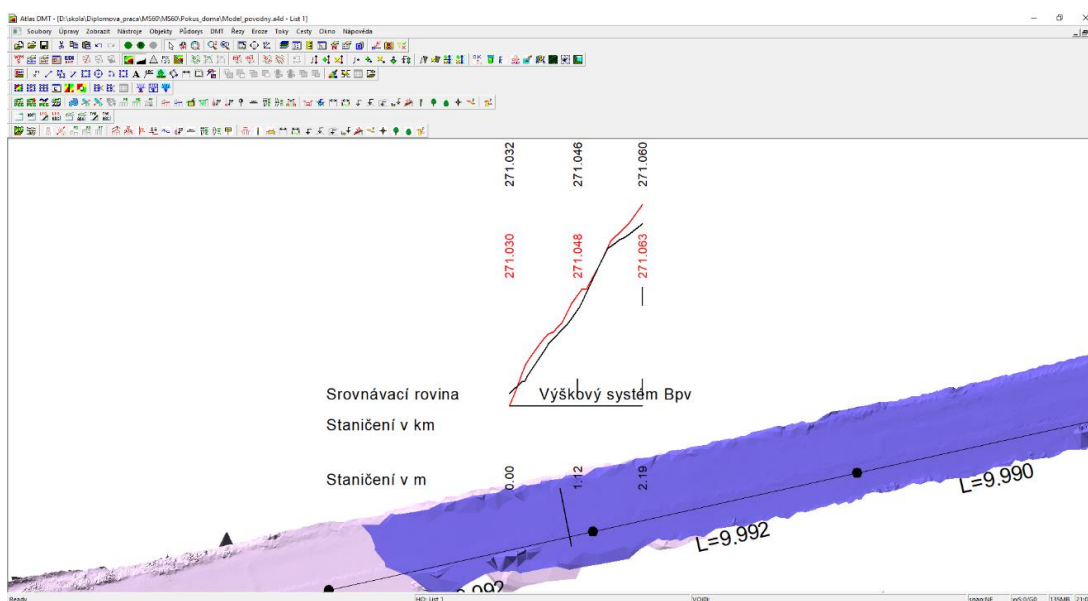
Tabuľka 22 Výpočet presnosti určenia podrobného bodu multistanicou

Posúdenie presnosti merania

Tým, že z multistanice boli exportované mračná bodov aj pre každé stanovisko zvlášť, naskytla sa možnosť posúdiť presnosť merania na rozdieloch vo výškach na prekrytoch týchto mračen bodov. V prostredí programu ATLAS DMT bolo vytvorených 5 digitálnych modelov terénu. Na každom prekryte bol vložený profil, ktorý snímal výšky z obidvoch DMT a tak bolo možné stanoviť rozdiely. Tie boli porovnané s hodnotou medznej odchýlky dvojitého určenia podrobného bodu vypočítanou podľa vzorca (3.3).

Porovnanie DMT na bodoch na prekrytoch			
Medzi DMT		Max. rozdiel [mm]	Medzná hodnota [mm]
1	2	3	3
2	3	3	3
3	4	3	3
4	5	4	3

Tabuľka 23 Porovnanie DMT na bodoch na prekrytoch



Obrázok 41 Príklad profilu na prekryte dvoch DMT

Pozdĺžny a priečne profily

Tak isto ako pri totálnej stanici či statickom skeneri, pozdĺžny profil nebol porovnávaný priamo, ale iba vo forme grafu odchýlok od referenčného profilu. Priečne profily boli, rovnako ako pri statickom skeneri, priamo graficky porovnané s referenčnými profilmi. Priebeh profilov číselne dokumentuje digitálna príloha č. 1.

Porovnanie s referenčným pozdĺžnym profilom

Bol vytvorený graf odchýlok výšok pozdĺžneho profilu zameraného multistanicou od výšok referenčného profilu, ktorý sa nachádza v prílohe č. 3. Rovnako ako u statického skeneru je tu vidieť závislosť veľkosti odchýlok od vzdialenosti bodov od stanoviska.. Tým pádom môžeme povedať, že presnosť skenovaných bodov klesá s narastajúcou dĺžkou. Pri meraní multistanicou nie je táto závislosť tak výrazná ako pri meraní statickým skenerom. Znovu môžeme pozorovať rozdiel povrchov na prvých 30 metroch, kde je rozptyl odchýlok vyšší. Hodnoty odchýlok na kvalitnejšom povrchu sa pohybujú na intervale $\langle -2;5 \rangle$, kdežto hodnoty na členitom povrchu dosahujú takmer 2x vyšších hodnôt. Ďalej bola vypočítaná medzná hodnota rozdielu dvojitého určenia podrobného bodu zameraného presnou niveláciou a multistanicou pre oba povrchy podľa vzorca (3.4), na základe ktorej boli posúdené odchýlky od referenčnej metódy.

Medzná hodnota rozdielu dvojitého určenia podrobného bodu zameraného presnou niveláciou a multistanicou	kvalitný povrch		členitý povrch	
δ_{PNMS}	2	mm	3	mm

Tabuľka 24 Hodnoty δ_{PNMS}

Na grafe odchýlok pozdĺžneho profilu je vidno, že niektoré hodnoty prekračujú medznú hodnotu, čo bolo pravdepodobne spôsobené započatím stavebnej činnosti a umiestnením plotov na chodníku. Zároveň je vidieť že body zamerané zo stanoviska č. 2 vykazujú najvyššie odchýlky, takže toto stanovisko alebo jeden segment skenovaného rastru mohli byť chybné. Pre účely empirického odhadu presnosti výškového určenia bodov budú body určené referenčnou metódou považované za bezchybné. Z rozdielov výšok na jednotlivých bodoch na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia výšok posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca (3.5).

$$S_{MSpo} = 1,0 \text{ mm}.$$

Porovnanie s referenčnými priečnymi profilmi

Tak isto ako u statického skeneru boli priečne profily zamerané multistanicou porovnané priamo s referenčnými profilmi. Tieto porovnania sa nachádzajú v prílohe č. 4. Na niektorých grafoch môžeme pozorovať, že odchýlky od referenčnej hodnoty sú na okrajových bodoch profilu vyššie, čo je spôsobené vplyvom vegetácie okolo chodníka na skenovanie. Hodnoty odchýlok na oboch povrchoch sa pohybujú na intervale $\langle -4;6 \rangle$.

Hodnoty odchýlok boli porovnané s medznou hodnotou rozdielu dvojitého určenia podrobného bodu zameraného profilomerom Dipstick a multistanicou vypočítanou podľa vzorca (3.4).

Medzná hodnota rozdielu dvojitého určenia podrobného bodu zameraného Dipstickom a multistanicou	kvalitný povrch		členitý povrch	
δ_{DSMS}	2	mm	4	mm

Tabuľka 25 Hodnoty δ_{DSMS}

Na grafoch je vidieť, že väčšina odchýlok neprekračuje medzné hodnoty δ_{DSMS} . Hodnoty, ktoré sú vyššie sa nachádzajú na okrajoch profilov. Priechy profil so staničením 530 vykazuje vyššie hodnoty odchýlok a bol zameraný zo stanoviska č.2, čo potvrdzuje teóriu o chybnom stanovisku resp. segmente. Pre účely empirického odhadu presnosti výškového určenia bodov budú body určené referenčnou metódou považované za bezchybné. Z rozdielov výšok na jednotlivých bodoch na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia výšok posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka dvojíc merania podľa vzorca (3.5).

$$S_{MSpr} = 1,6 \text{ mm}.$$

4 URČENIE NEROVNOSTÍ

Stavebným kameňom diplomovej práce je určenie nerovností. Z výsledkov meraní je možné nerovnosti určiť pomocou rôznych parametrov, z ktorých boli zvolené tri:

- Medzinárodný index pozdĺžnej nerovnosti – IRI
- Pozdĺžna nerovnosť meraná pod latou dĺžky 4m – L4m
- Priečna nerovnosť meraná pod latou dĺžky 2m – L2m

U väčšiny metód sú tieto parametre odvodené zo zameraných resp. vypočítaných výšok na profile, iba u cestnej laty boli nerovnosti merané priamo.

Táto kapitola sa bude zaoberať princípom určenia týchto parametrov, ich vizualizáciou pomocou grafov, porovnaním voči referenčnej metóde či presnosťou ich určenia.

4.1 Index IRI

Parameter IRI je momentálne najužívanejším parametrom na určovanie nerovností pozdĺžneho profilu vozovky, pretože najlepšie vystihuje úroveň komfortu jazdy. Ako je popísané v kapitole 2.2.1 je stanovený simuláciou jazdy dvojmotového odozvového systému po zameranom profile. Hodnoty parametru IRI môžu byť určené aj dynamicky, čiže bez vyhodnotenia výškových údajov na profile, no v našom prípade bol IRI určený práve z vyhodnotených výšok profilov jednotlivých metód. Algoritmus výpočtu IRI nie je najjednoduchší a je podrobne popísaný v [36]. Existujú dostupné softwary, ktoré majú tento algoritmus zabudovaný a po zadaní výšok profilu vypočítajú hodnoty IRI. Jedným z takýchto softwarov je Atlas DMT s modulom Road Line, v ktorom bol IRI vypočítaný pre všetky metódy, ktorých výsledkom bol pozdĺžny profil s výškami. Na základe hodnôt IRI sú vozovky rozdelené do klasifikačných stupňov podľa tabuľky 1, na báze ktorých sa rozhoduje o požadovaných dopravných opatreniach podľa tabuľky 2.

Pre komplikovanosť výpočtového algoritmu indexu IRI, neboli stanovené apriorné odhady presnosti jeho určenia.

4.1.1 Presná nivelácia

Metódou presnej nivelácie boli zamerané výšky, ktorých výsledkom je referenčný pozdĺžny profil. Na základe týchto výšok boli vypočítané hodnoty parametru IRI pre tento profil. Hodnoty parametru IRI vypočítaného z výšok zameraných presnou niveláciou sú

pre účely práce referenčné a považujeme ich teda za skutočné hodnoty. Priebeh hodnôt parametru IRI na pozdĺžnom profile môžeme vizuálne sledovať na grafe v prílohe č. 5. Na grafe vidieť, že hodnoty IRI na kvalitnejšom povrchu sa pohybujú v intervale $\langle 2,0;7,0 \rangle$ pričom hodnoty IRI na nekvalitnom povrchu sú viac ako dvojnásobné, čo ukazuje, že stupeň komfortu je oveľa nižší na menej kvalitnom povrchu.

4.1.2 Totálna stanica

Výsledkom merania totálnou stanicou je rovnako ako u nivelácie pozdĺžny profil s výškami, na základe ktorého boli vypočítané hodnoty parametru IRI. Tie boli porovnané s referenčnými hodnotami a z odchýlok bol vytvorený graf, ktorý sa nachádza v prílohe č. 5. Hodnoty odchýlok na kvalitnejšom povrchu sa pohybujú na intervale $\langle -0,4;0,4 \rangle$, kdežto hodnoty na členitom povrchu dosahujú až 4x vyšších hodnôt.

Z odchýlok hodnôt parametru IRI od referenčného profilu na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia IRI posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca (3.5)

$$S_{IRITS} = 0,2 \text{ mm/m}.$$

4.1.3 Statický skener

Výsledkom merania statickým skenerom je taktiež pozdĺžny profil s výškami. Boli teda vypočítané hodnoty IRI a porovnané s referenčnými hodnotami. Bol vytvorený graf, ktorý porovnáva celý priebeh IRI profilom s referenčným profilom a zároveň graf odchýlok od referenčných hodnôt. Grafy sa nachádzajú v prílohe č. 5. Hodnoty odchýlok na oboch povrchoch sa pohybujú na intervale $\langle -0,3;0,9 \rangle$.

Z odchýlok hodnôt parametru IRI od referenčného profilu na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia IRI posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca (3.5)

$$S_{IRISS} = 0,3 \text{ mm/m}.$$

4.1.4 Multistanica

Výsledkom merania multistanicou je opäť pozdĺžny profil, na základe ktorého boli vypočítané hodnoty IRI. Tie boli porovnané s referenčnými hodnotami v grafe priebehu IRI profilom a taktiež v grafe odchýlok od týchto hodnôt. Grafy sa nachádzajú v prílohe

č. 5. Hodnoty odchýlok na kvalitnejšom povrchu sa pohybujú na intervale $<-0,4;0,5>$, kdežto hodnoty na členitom povrchu dosahujú až 3x vyšších hodnôt.

Z odchýlok hodnôt parametru IRI od referenčného profilu na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia IRI posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca (3.5)

$$S_{IRIMS} = 0,2 \text{ mm/m.}$$

4.2 Pozdĺžna nerovnosť pod latou dĺžky 4 m - L4m

Parameter L4m definujeme podľa obrázka 2 ako maximálnu hodnotu dvojamplitúdy nerovnosti meranú pod latou dĺžky 4 m. Okrem priameho merania cestnou latou bol tento parameter odvodený zo simulácie merania latou o dĺžke 4 m na pozdĺžnom profile, ktorý bol zameraný jednotlivými metódami. Simulácia prebiehala po bodoch pozdĺžneho profilu podľa obrázka 11, s tým rozdielom, že krok posunu virtuálnej laty po profile nebol 2 m, ale 1 m. Rovnako ako výpočet IRI, tak aj výpočet L4m prebiehal v prostredí programu Atlas DMT v module Road Line.

4.2.1 Presná nivelácia

Metódou presnej nivelácie boli zamerané výšky, ktorých výsledkom je referenčný pozdĺžny profil. Na základe týchto výšok boli vypočítané hodnoty parametru L4m pre tento profil. Hodnoty parametru L4m vypočítaného z výšok zameraných presnou niveláciou sú pre účely práce referenčné a považujeme ich teda za skutočné hodnoty. Priebeh hodnôt parametru L4m na pozdĺžnom profile môžeme vizuálne sledovať na grafe v prílohe č. 6. Na grafe vidieť, že hodnoty L4m na kvalitnejšom povrchu sa pohybujú v intervale $<0,7;20,9>$ pričom hodnoty L4m na nekvalitnom povrchu sú viac ako dvojnásobné.

Odhad presnosti určenia parametru L4m je určený zo vzorca pre jeho výpočet pomocou interpolácie. Pre účely práce predpokladáme ideálny prípad kedy sa maximálna hodnota nachádza v strede medzi dotykovými bodmi, odhad presnosti sa potom vypočíta podľa vzorca

$$m_{L4mPN} = \sqrt{1,5} * m_{PNb}. \quad (4.2)$$

Odhad presnosti určenia parametru L4m presnou niveláciou	kvalitný povrch		členitý povrch	
m_{L4mPN}	0,59	mm	1,52	mm

Tabuľka 26 Odhad presnosti určenia parametru L4m presnou niveláciou

4.2.2 Totálna stanica

Výsledkom merania totálnou stanicou je rovnako ako u nivelácie pozdĺžny profil s výškami, na základe ktorého boli vypočítané hodnoty parametru L4m. Tie boli porovnané s referenčnými hodnotami a z odchýlok bol vytvorený graf, ktorý sa nachádza v prílohe č. 6. Hodnoty odchýlok na kvalitnejšom povrchu sa pohybujú na intervale $\langle -1,7; 2,5 \rangle$, kdežto hodnoty na členitom povrchu dosahujú takmer 2x vyšších hodnôt. Rovnako ako u nivelácie bol stanovený odhad presnosti určenia parametru L4m podľa vzorca (4.2).

Odhad presnosti určenia parametru L4m totálnou stanicou	kvalitný povrch		členitý povrch	
m_{L4mTS}	1,0	mm	1,7	mm

Tabuľka 27 Odhad presnosti určenia parametru L4m totálnou stanicou

Z odchýlok hodnôt parametru L4m od referenčného profilu na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia L4m posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca (3.5)

$$S_{L4mTS} = 0,8 \text{ mm}.$$

4.2.3 Statický skener

Výsledkom merania statickým skenerom je taktiež pozdĺžny profil s výškami. Boli teda vypočítané hodnoty L4m a porovnané s referenčnými hodnotami. Bol vytvorený graf, ktorý porovnáva celý priebeh L4m profilom s referenčným profilom a zároveň graf odchýlok od referenčných hodnôt. Grafy sa nachádzajú v prílohe č. 6. Hodnoty odchýlok na kvalitnejšom povrchu sa pohybujú na intervale $\langle -3,9; 3,4 \rangle$, kdežto hodnoty na členitom povrchu dosahujú takmer 3x vyšších hodnôt. Odhad presnosti určenia parametru L4m statickým skenerom bol vyhodnotený podľa vzorca (4.2).

Odhad presnosti určenia parametru L4m statickým skenerom	kvalitný povrch		členitý povrch	
m_{L4mSS}	2,8	mm	3,2	mm

Tabuľka 28 Odhad presnosti určenia parametru L4m statickým skenerom

Z odchýlok hodnôt parametru L4m od referenčného profilu na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia L4m posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca (3.5)

$$S_{L4mSS} = 1,2 \text{ mm}.$$

4.2.4 Multistanica

Výsledkom merania multistanicou je opäť pozdĺžny profil, na základe ktorého boli vypočítané hodnoty L4m. Tie boli porovnané s referenčnými hodnotami v grafe priebehu L4m profilom a taktiež v grafe odchýlok od týchto hodnôt. Grafy sa nachádzajú v prílohe č. 6. Hodnoty odchýlok na kvalitnejšom povrchu sa pohybujú na intervale <-3,0;3,0>, kdežto hodnoty na členitom povrchu dosahujú takmer 4x vyšších hodnôt. Odhad presnosti určenia parametru L4m multistanicou bol získaný zo vzorca (4.2).

Odhad presnosti určenia parametru L4m multistanicou	kvalitný povrch		členitý povrch	
	m_{L4mMS}		m_{L4mMS}	
	1,3	mm	1,5	mm

Tabuľka 29 Odhad presnosti určenia parametru L4m multistanicou

Z odchýlok hodnôt parametru L4m od referenčného profilu na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia L4m posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca (3.5)

$$S_{L4mMS} = 0,9 \text{ mm}.$$

4.2.5 Cestná lata

Cestnou latou boli zamerané hodnoty nerovnosti pod latou 4m, L4m, priamo v teréne. Kvôli nepravidelnosti povrchu nebolo latou merané na nekvalitnom asfalte. Vzhľadom na to, že tieto parametre boli merané lokálne výberom na 9 miestach, tak nebolo možné vykresliť a teda porovnávať celý profil, ale iba jednotlivé zamerané hodnoty. Tie sú porovnané v tabuľke 30.

Dotykové body		L4m			Rozdiel [mm]
Staničenie [m]		Staničenie [m]	Z merania latou [mm]	Z PN [mm]	
522,30	526,30	525,00	18	17	-1
526,30	530,30	528,10	12	14	2
570,00	573,20	572,00	4	5	1
585,10	587,40	586,60	2	3	1
600,80	604,20	602,90	7	7	0
634,30	638,10	637,10	7	9	2
643,00	647,00	643,90	14	17	3
662,25	665,70	662,75	13	13	0
686,80	690,00	688,00	2	5	3

Tabuľka 30 Porovnanie hodnôt parametru L4m nameraného cestnou latou s referenčnými hodnotami

Odhad presnosti určenia parametru L4m cestnou latou bol získaný zo vzorca (4.2).

Odhad presnosti určenia parametru L4m cestnou latou	kvalitný povrch		členitý povrch	
	m_{L4mCL}			
	1,3	mm	2,0	mm

Tabuľka 31 Odhad presnosti určenia parametru L4m cestnou latou

Z odchýlok hodnôt parametru L4m od referenčného profilu na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia L4m posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca (3.5)

$$S_{L4mCL} = 1,8 \text{ mm.}$$

4.3 Priečna nerovnosť pod latou dĺžky 2 m - L2m

Parameter L2m je definovaný podľa obrázka 2 ako maximálna dvojamplitúda nerovnosti meraná pod latou dĺžky 2 m. Bol určený rovnako ako L4m, ibaže simulácia prebiehala latou o dĺžke 2 m s krokom posunu virtuálnej laty po profile 0,25 m. Výpočet prebiehal taktiež v programe Atlas DMT v module Road Line. Predmetom vyhodnotenia sú nerovnosti povrchu na 11 vybraných priečných profiloch.

4.3.1 Profilomer Dipstick

Profilomerom Dipstick boli zamerané sklonové pomery na jednotlivých priečných profiloch s následnou transformáciou do absolútnych výšok, z ktorých bolo možné určiť parameter L2m. Takto určené hodnoty parametru L2m sú pre účely práce referenčné a považujeme ich teda za skutočné hodnoty. Vzhľadom na krátku dĺžku profilov, hodnôt L2m na každom profile je veľmi málo a vo viacerých prípadoch určujú iba jedno miesto nerovnosti, preto neboli graficky vizualizované, ale iba zapísané do tabuliek. Tie sa nachádzajú v prílohe č. 7.

Keďže výpočet parametru L2m vychádza z rovnakého princípu ako výpočet L4m, odhad presnosti určenia tohto parametru je vypočítaný podľa rovnakého vzorca (4.2).

Odhad presnosti určenia parametru L2m profilomerom Dipstick	kvalitný povrch		členitý povrch	
	m_{L2mDS}			
	0,6	mm	1,6	mm

Tabuľka 32 Odhad presnosti určenia parametru L2m profilomerom Dipstick

4.3.2 Statický skener

Z výsledných výšok na priečných profiloch zameraných statickým skenerom boli vypočítané hodnoty parametru L2m. Tie boli porovnané s referenčnými hodnotami L2m a boli vyčíslené rozdiely týchto hodnôt do tabuliek v prílohe č. 7. Keďže výšky, z ktorých bol parameter L2m vypočítaný majú rovnakú presnosť určenia ako tie pre výpočet parametru L4m, hodnota určenia presnosti parametru L2m touto metódou je rovnaká a môžeme ju vidieť v tabuľke 28.

Z odchýlok hodnôt parametru L2m od referenčných priečných profilov na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia L2m posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca (3.5)

$$S_{L2mSS} = 0,8 \text{ mm.}$$

4.3.3 Multistanica

Z výsledných výšok na priečných profiloch zameraných multistanicou boli vypočítané hodnoty parametru L2m. Tie boli porovnané s referenčnými hodnotami L2m a boli vyčíslené rozdiely týchto hodnôt do tabuliek v prílohe č. 7. Keďže výšky, z ktorých bol parameter L2m vypočítaný majú rovnakú presnosť určenia ako tie pre výpočet parametru L4m, hodnota určenia presnosti parametru L2m touto metódou je rovnaká a môžeme ju vidieť v tabuľke 29.

Z odchýlok hodnôt parametru L2m od referenčných priečných profilov na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia L2m posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca (3.5)

$$S_{L2mMS} = 1,1 \text{ mm.}$$

4.3.4 Cestná lata

Cestnou latou boli zamerané hodnoty nerovnosti pod latou 2m, L2m, priamo v teréne. Tieto hodnoty boli následne porovnané s referenčnými hodnotami parametru L2m v tabuľke 33.

Staničenie profilu [m]	Dotykové body - na kolmici od osy [m]		L2m			Rozdiel [mm]
			Vzdialenosť od osy [m]	Z merania latou [mm]	Z profilomeru [mm]	
490,00	-1,70	+0,30	-0,70	8	6	2
510,00	-2,00	-1,35	-1,85	6	4	2
530,00	-2,00	0,00	-0,80	2	1	1
550,00	-2,00	0,00	-0,80	6	6	0
570,00	-1,85	-0,40	-1,40	5	4	1
	-0,40	+0,40	+0,15	4	2	2
590,00	-1,70	-0,45	-1,40	4	3	1
	-0,40	+0,40	+0,10	4	3	1
610,00	-1,85	-0,30	-1,20	7	6	1
630,00	-1,90	-0,35	-1,30	5	4	1
	-0,35	+0,75	-0,30	8	6	2
650,00	-1,15	+0,75	0,00	8	9	-1
670,00	-0,35	+0,60	-0,20	10	8	2
690,00	-2,00	-0,60	-1,00	6	5	1

Tabuľka 33 Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného cestnou latou s referenčnými hodnotami

Odhad presnosti určenia tohto parametru je taktiež rovnaký ako presnosť určenia parametru L4m a môžeme ho vidieť v tabuľke 31.

Z odchýlok hodnôt parametru L2m od referenčného profilu na kvalitnejšom povrchu bol vypočítaný odhad relatívnej presnosti určenia L2m posudzovanej metódy ako smerodajná odchýlka podľa vzorca (3.5)

$$S_{L2mCL} = 1,3 \text{ mm.}$$

5 VYUŽITIE V PRAXI

Porovnávané metódy zamerania nerovností sa v praxi v dnešnej dobe výrazne nevyužívajú. Spoločnosti, ktoré sa zameriavajú na hodnotenie nerovností povrchov vozoviek využívajú najmä multifunkčné vozidlá s laserovými senzormi, pomocou ktorých sú merané nerovnosti. Presná nivelácia a profilomer Dipstick sa používajú hlavne na kalibráciu týchto vozidiel, keďže spadajú medzi technológie 1. triedy presnosti. Cestná lata je technológiou, ktorá je v prípade sporu rozhodujúca, takže pri zameraní nerovností povrchu vozovky môže zohrávať dôležitú úlohu, napriek tomu, že dnešné technológie sú ďaleko pred ňou. Technológie, ktoré sa momentálne nespájajú s praktickým zameraním nerovností povrchov vozoviek sú alternatívne – geodetické – metódy. Meranie totálnou stanicou je najpoužívanejšou geodetickou metódou, takže je zaujímavé sledovať aké sú jej možnosti pri zameraní nerovností. Statický skener a multistanica, zase, patria medzi najpokrokovejšie technológie v geodézii a ich využitie siaha aj do ďalších odvetví, preto bolo vhodné ich otestovať aj pri zameraní nerovností povrchu vozovky.

V tejto kapitole je vyhodnotená využiteľnosť porovnávaných metód v praxi na základe rôznych aspektov, ktoré sú významné pri rozhodovaní aká technológia bude použitá na zameranie. Týmito aspektami sú presnosť, čas, ekonomická stránka, reprodukovateľnosť merania či zásah do premávky. Vyhodnotenie na základe všetkých aspektov je zhrnuté v tabuľke 34.

5.1 Presnosť

Presnosť je základným ukazovateľom kvality každej technológie a jej vyhodnotenie bolo hlavným cieľom tejto práce. Vzhľadom na fakt, že medzné hodnoty v technických predpisoch týkajúcich sa povrchov vozoviek sú v rádoch milimetrov, tak presnosť testovaných metód by nemala byť vyššia. Odhliadnuc od referenčných metód presnej nivelácie a profilomeru Dipstick, u ktorých boli vyhodnotené iba teoretické absolútne presnosti, tak najpresnejšou technológiou je meranie totálnou stanicou. Na základe teoretických absolútnych presností vyzeralo meranie statickým skenerom ako najmenej vhodné, ale empiricky získané presnosti ukázali, že je porovnateľné s multistanicou či totálnou stanicou. Praktickým meraním bolo dosiahnuté najnižšej empiricky získanej presnosti u cestnej laty, ktorou ale bolo zameraných málo nerovností a zároveň poloha nerovností mohla byť voči referenčným profilom posunutá, takže výsledky môžu byť skresľujúce.

5.2 Čas

Vyhodnotenie z hľadiska časovej náročnosti bolo rozdelené do dvoch skupín, čas strávený v teréne zameraním nerovností a čas potrebný na spracovanie merania do výsledných produktov.

Čas merania Dipstickom môže skresľovať vyhodnotenie, pretože ním boli merané iba priečne profily. Keby ním bol meraný aj pozdĺžny profil meranie by bolo pravdepodobne oveľa dlhšie, podobné presnej nivelácii. Meranie cestnou latou bolo najkratšie, pretože boli merané iba lokálne nerovnosti a nie celé profily. Z metód, ktorými boli zamerané profily, časovo najvýhodnejšie je meranie multistanicou.

Čas spracovania je závislý na predmete merania jednotlivými metódami. Cestnou latou dostávame hodnoty nerovností priamo v teréne, takže čas potrebný na spracovanie je minimálny. Profilomerom Dipstick sú zamerané sklonové pomery na profiloch a je potrebná ich transformácia do absolútnych výšok. Keďže je potrebné pracovať v softvare z Dipsticku, ktorý má obmedzené možnosti exportu, je spracovanie mierne predĺžené. Presnou niveláciou a totálnou stanicou sú zamerané výšky na profile, z ktorých sa dajú priamo vypočítať nerovnosti, takže spracovanie nie je zdĺhavé. Multistanicou je zamerané mračno bodov, ktoré je ale georeferencované, takže je vhodné na tvorbu DMT. DMT je potrebné optimalizovať, následne vyexportovať profily a z nich vypočítať nerovnosti, takže spracovanie trvá dlhšie. Najdlhší čas na spracovanie je potrebný pri statickom skeneri, keďže okrem tých istých krokov ako u multistanice je potrebné jednotlivé skeny spojiť a georeferencovať, čo trvá podstatne dlhší čas.

5.3 Ekonomická stránka

Na ekonomickú stránku problému vplýva mnoho faktorov. Jedným z nich je aj čas, ktorý vplýva na finančné ohodnotenie zamestnancov, s čím súvisí počet ľudí potrebných na prácu jednotlivými metódami. Ďalšími faktormi vplývajúcimi na ekonomiku sú cena prístrojového vybavenia a cena a počet softwarov potrebných na spracovanie. Celkovo ekonomicky najdostupnejšou metódou je meranie cestnou latou a ekonomicky najzaťaženejšou sú statický skener a multistanica. V prípade statického skeneru je potrebný navyše software na spojenie a georeferencovanie skenov. Na prácu v takomto softvare je potrebné odborné zaškolenie.

5.4 Reprodukovateľnosť merania

Reprodukovateľnosť merania je v prípade merania nerovností zásadným problémom. Presnou niveláciou a cestnou latou je takmer nemožné zamerať dva krát presne to isté miesto na povrchu vozovky, takže reprodukovateľnosť je veľmi nízka. Dipstickom, vďaka svojmu konštantnému rozostupu nôh, je možné v teréne zamerať tie isté miesta s určitou presnosťou viac krát. Podobne totálnou stanicou, ktorou je možné jednotlivé miesta s určitou presnosťou vytýčiť a následne zamerať. Statický skener a multistanica ponúkajú excelentné možnosti z hľadiska reprodukovateľnosti, keďže výsledkom meraní je DMT, na ktorom sú jednoznačne dané profily.

5.5 Zásah do premávky

Bezpečnosť pri práci je daná predpismi BOZP a teda musí byť zabezpečené, aby pracovníci pracovali bez rizika. To je u niektorých metód možné iba za úplného obmedzenia premávky. U metód, ktoré sú tzv. bezkontaktné postačuje iba čiastočná výluka premávky.

	Presná nivelácia	Dipstick (iba priechne pf)	Cestná lata	Totálna stanica	Statický skener	Multistanica
Teoretický odhad výškovej presnosti [mm]	0,5	0,5	1,1	0,8	2,3	1,1
Empiricky získaná výšková presnosť [mm]	-	-	-	1,1	1,3	1,0
Empiricky získaná presnosť určenia IRI [mm/m]	-	-	-	0,2	0,3	0,2
Empiricky získaná presnosť určenia L4m [mm]	-	-	1,8	0,8	1,2	0,9
Empiricky získaná presnosť určenia L2m [mm]	-	-	1,3	-	0,8	1,1
Čas merania [h]	7	2	2	6	4	3
Čas spracovania [h]	3	4	1	3	8	5
Počet osôb	2	1	1	1-2	1-2	1-2
Cena vybavenia	Stredná	Stredná	Nízka	Vysoká	Vysoká	Veľmi vysoká
Softwarová náročnosť	Nízka	Stredná	Žiadna	Nízka	Veľmi vysoká	Vysoká
Reprodukovateľnosť informácie	Nízka	Stredná	Nízka	Stredná	Vysoká	Vysoká
Obmedzenie premávky	Úplné	Úplné	Úplné	Úplné	Čiastočné	Čiastočné

Tabuľka 34 Vyhodnotenie praktického využitia porovnávaných metód

6 ZÁVER

Ľudstvo nikdy neprestane cestovať. Či už je to cestovanie za prácou, rodinou či zábavou, základom je vždy bezpečnosť a komfort pri jazde. Na tieto dva faktory zásadnou mierou vplýva nerovnosť povrchu vozovky. So stúpajúcim množstvom áut a nárokmi na dopravu je nutné inovovať aj metódy na zameranie týchto nerovností. Cieľom je najmä zrýchlenie merania a zníženie obmedzení dopravy, pre zachovanie čo najplynulejšej premávky avšak bez výrazného dopadu na presnosť a dôveryhodnosť určenia nerovností.

V diplomovej práci boli analyzované technológie používané na zameranie nerovností povrchu vozovky a zároveň boli vyhodnotené aj geodetické metódy, ktoré boli s týmito technológiami porovnávané. Analyzované boli 3 technológie zahrnuté v ČSN 73 6175 - presná nivelácia, cestná lata, profilomer Dipstick – a 3 alternatívne technológie - totálna stanica, statický skener, multistanica.

Úvodná časť bola zameraná na teoretické priblíženie problému s popisáním jednotlivých parametrov, ktoré sa pri zameraní nerovností na pozdĺžnych, či priečnych profiloch vyhodnocujú, spolu so zásadami, ktoré pri meraní treba dodržiavať. Následne boli teoreticky rozobrané jednotlivé metódy používané na zameranie nerovností – tradičné metódy – a alternatívne metódy, ktoré by svojím charakterom mohli byť vhodné na zameranie nerovností povrchu vozovky.

V ďalšej časti práce bola priblížená lokalita kontrolovaných profilov a siet' bodov potrebných na praktické zameranie. Následne boli popísané použité prístroje, postupy merania a výsledky jednotlivých metód. Tie zahrňovali výsledné produkty merania ako pozdĺžne či priečne profily, spolu s odhadmi absolútnej presnosti určenia výšok na bodoch profilov a relatívnymi presnosťami výšok na bodoch profilov voči referenčným metódam získanými empiricky z odchýlok od referenčných profilov. Výsledné produkty boli spracované do grafov.

Ďalšia časť práce bola venovaná určeniu parametrov popisujúcich nerovnosti povrchu vozovky. Boli určené 3 parametre – IRI, L4m a L2m – ktoré boli vizualizované v grafoch. Bol opísaný postup ich určenia a každej metóde boli určené hodnoty empiricky získaných presností z odchýlok od referenčných hodnôt. Z odhadov presnosti určenia výšok každou metódou boli odvodené odhady presnosti určenia parametrov L4m a L2m. Porovnania hodnôt parametrov jednotlivými metódami boli spracované v grafoch.

Záverečná časť práce sa zaoberala celkovým zhrnutím výsledkov a vyhodnotením jednotlivých metód na základe ich potenciálu pri praktickom využití. Z hľadiska presnosti, dosiahli geodetické metódy porovnateľné hodnoty s presnosťami tradičných metód. Oproti nim sú geodetické metódy rýchlejšie, no najväčšou výhodou je možnosť jednoznačnej identifikácie kontrolovaných bodov a nepotrebnosť úplného odstavenia dopravy.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] Prvé auto na svete má 130 rokov – Autá – Webmagazin.Teraz.sk. *Webmagazín.Teraz.sk – Webmagazin.Teraz.sk* [online]. Copyright © [cit. 06.04.2020]. Dostupné z: <https://webmagazin.teraz.sk/auta/prve-auto-na-svete-ma-130-rokov/3550-clanok.html>
- [2] Poznáte betón? Tieto fakty možno prekvapia aj vás – Akostavat.com. *Stavebný informačný portál o stavaní od profesionálov – Akostavat.com* [online]. [cit. 06.04.2020]. Dostupné z: <https://www.akostavat.com/beton-tieto-fakty-mozno-prekvapia-aj-vas/>
- [3] Výzkum zaměřený na navrhování, stavbu a údržbu konstrukcí vozovek pozemních komunikací. *Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací.* [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 06.04.2020]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/14637904-Vyzkum-zamereny-na-navrhovani-stavbu-a-udrzbu-konstrukci-vozovek-pozemnich-komunikaci.html>
- [4] KOVAŘÍK, POLKA A VANĚČEK. *Silniční otázky v Česko-Slovensku*. Praha : Prometheus, 1939.
- [5] Počet osobních aut v Česku se přiblížil šesti milionům – Novinky.cz. *Novinky.cz – nejčtenější zprávy na českém internetu* [online]. Copyright © 2003 [cit. 06.04.2020]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/auto/clanek/pocet-osobnich-aut-v-cesku-se-priblizil-sesti-milionum-40311547>
- [6] SLÁMA, J. A BEK, S. *Analýzy nerovnosti povrchu vozovek*. *Atlasltd.cz*. [Online] [cit. 06. 04 2020.] Dostupné z: http://www.atlasltd.cz/files/upload/content/gsp15_nerovnosti_vozovek_slama_bek_v06_-_publikovano.pdf
- [7] ČSN 73 6175. *Měření a hodnocení nerovnosti povrchů vozovek*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2015.
- [8] ČSN EN 13036-8. *Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 8: Stanovení parametrů příčné nerovnosti*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2009.

- [9] Roughness – Pavement Interactive. *Pavement Interactive – Pavement Interactive* [online]. [cit. 08. 04 2020.] Dostupné z: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-management/pavement-evaluation/roughness/>
- [10] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací – Kapitola 7. *Hutněné asfaltové vrstvy*. Ministerstvo dopravy – Odbor silniční infrastruktury, Praha, 2008.
- [11] Technické podmínky 92. *Navrhování údržby a oprav vozovek s cementobetonovým krytem*. Ministerstvo dopravy – Odbor silniční infrastruktury, Praha, 2010.
- [12] ČSN EN 13036-6. *Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 6: Měření příčných a podélných profilů nerovnosti a megatextury*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2009.
- [13] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací – Kapitola 7. *Hutněné asfaltové vrstvy*. Ministerstvo dopravy – Odbor infrastruktury, Praha, 2008.
- [14] Planograph / Anix GmbH. *Plattendruckgeräte und Planografen / Anix GmbH* [online]. Dostupné z: <https://www.anix.biz/en/planograph/planograph/>
- [15] Profilograph. *Cdb.sk*. [online]. Copyright © Slovenská správa ciest [cit. 08.04.2020]. Dostupné z: <https://www.cdb.sk/sk/cdb-cestna-databanka/Zber-udajov/Profilograph.alej>
- [16] Technické podmienky. *Meranie a hodnotenie nerovnosti vozoviek pomocou zariadenia Profilograph GE*. Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR – Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií, Bratislava, 2012.
- [17] ŠTRONER, M. *Terestrické skenovací systémy*. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 2008. ISBN 978-80-01-04141-3.
- [18] ŠTRONER, M. *Trigonometrické určování výškových rozdílů* [online]. Copyright ©. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GD3/gd3_pred_5_TUVR_uvod.pdf
- [19] Laserové skenovanie – Geodetics s.r.o.. *Main Page – Geodetics s.r.o.* [online]. Copyright © 2009 [cit. 10.04.2020]. Dostupné z: https://www.geodetics.sk/?page_id=1289

- [20] Terrestrisches Laserscanning : Inschriften im Bezugssystem des Raumes (IBR). [online]. Dostupné z: <http://www.spatialhumanities.de/ibr/technologie/terrestrisches-laserscanning.html>.
- [21] Geotech – Leica MS50. *Geotech Bratislava* [online]. Copyright © Geotech Bratislava 2008 [cit. 11.04.2020]. Dostupné z: <https://www.geotech.sk/Produkty/Totalne-stanice/Geodeticke/Leica-MS50.html>
- [22] A Survey of Mobile Laser Scanning Applications and Key Techniques over Urban Areas. *ResearchGate / Find and share research* [online]. Copyright © 2019 by the authors. Licensee MDPI, Bas [cit. 11.04.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/334101735_A_Survey_of_Mobile_Laser_Scanning_Applications_and_Key_Techniques_over_Urban_Areas
- [23] Principle of mobile laser scanning | Download Scientific Diagram. *ResearchGate / Find and share research* [online]. Copyright © 2008. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-mobile-laser-scanning_fig1_261170078
- [24] Mapy Google . *Google* [online]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/place/Novol%C3%AD%C5%A1e%C5%88sk%C3%A1,+628+00+Brno-L%C3%AD%C5%A1e%C5%88,+%C4%8Cesko/@49.2034853,16.6722903,1579m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x471294ade55bb0a1:0x158737a87b096220!8m2!3d49.2079454!4d16.6780592>
- [25] Foto: Bc. Samuel Ďuriš
- [26] Trimble DiNi – Geotronics Slovakia. *Geotronics Slovakia* [online]. Copyright © Copyright 2016. All Rights Reserved. [cit. 30.04.2020]. Dostupné z: <http://www.geotronics.sk/portf%C3%B3lio/trimble-dini/>
- [27] PROF. ING. DR. MIROSLAV HAUF, CSC., A KOLEKTIV. *Geodézie – Technický pruvodce 42*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-03-00142-0.
- [28] *Road Asset Management System and Platform* – SirWay Ltd. [online]. Copyright © [cit. 30.04.2020]. Dostupné z: <https://sirway.fi/st-lucia/docs/dipstick-manual.pdf>

- [29] Datasheet – Trimble S8 – English | Trimble. *Welcome / Trimble* [online]. Dostupné z: <https://community.trimble.com/docs/DOC-1763>
- [30] ŠVÁBENSKÝ, O., VITULA, A., BUREŠ, J. *Inženýrská geodézie. Návod ke cvičením*. Brno, 2006. Učebné texty. Vysoké učení technické v Brně.
- [31] Faro Laser Scanner Focus 3D X130. *IQServices*. [online]. [cit. 29. 04. 2020] Dostupné z: <http://www.iqservices.eu/project/files/pages/225/faro-focus-x130-iqservices.eu-en.pdf>
- [32] Faro Scanner – Laser Scanner Faro Focus 3d – Free Transparent PNG Download – PNGkey. *Free Transparent PNG Images, Unlimited Download – PNGkey* [online]. Copyright © 2018 pngkey.com. All rights reserved [cit. 30.04.2020]. Dostupné z: https://www.pngkey.com/detail/u2w7w7i1a9i1y3a9_faro-scanner-laser-scanner-faro-focus-3d/
- [33] Opti-cal Survey Equipment – Reference Sphere Set – XXL + Adapters. *Opti-cal Survey Equipment – Home* [online]. Copyright © 2020 Opti [cit. 30.04.2020]. Dostupné z: <https://surveyequipment.com/reference-sphere-set-xxl-adapters/>
- [34] Leica Nova MS60 – The World's First Self-Learning MultiStation | Leica Geosystems. *When it has to be right | Leica Geosystems* [online]. Copyright ©2020 Leica Geosystems AG [cit. 30.04.2020]. Dostupné z: <https://leica-geosystems.com/products/total-stations/multistation/leica-nova-ms60>
- [35] Geotech – Leica MS60. *Geotech Bratislava* [online]. Copyright © Geotech Bratislava 2008 [cit. 30.04.2020]. Dostupné z: <https://www.geotech.sk/Produkty/Totalne-stanice/Geodeticke/Leica-MS60.html>
- [36] SAYERS, MICHAEL W. On the calculation of international roughness index from longitudinal road profile. *Transportation research record*. 1501. [online] Dostupné z: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1995/1501/1501-001.pdf>

ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK

Obrázok 1 Rozdelenie geometrických parametrov podľa vlnovej dĺžky [7].....	14
Obrázok 2 Dvojmaplitúda nerovnosti 2a [7]	16
Obrázok 3 Výška schodku [8]	18
Obrázok 4 Pozdĺžne chrbty, hrbole a poklesy [8].....	18
Obrázok 5 Pokles hrany [8]	18
Obrázok 6 Hĺbka vyjazdenej koľaje [8].....	19
Obrázok 7 Teoretická hĺbka vody [8]	19
Obrázok 8 Geometrická nivelácia zo stredu [7]	21
Obrázok 9 Meračská lata [7].....	22
Obrázok 10 Merací klin [7]	22
Obrázok 11 Postup merania meračskou latou [7].....	23
Obrázok 12 Schéma planografu [7]	24
Obrázok 13 Planograf AX02 [14].....	24
Obrázok 14 Princíp merania profilomerom Dipstick [7].....	25
Obrázok 15 Profilomer Dipstick [9]	26
Obrázok 16 Profilomer s dvojmotovým odozvovým systémom [7].....	27
Obrázok 17 Princíp merania Profilographom GE [16]	28
Obrázok 18 Rozdiel medzi selektívnymi a neselektívnymi metódami [17]	29
Obrázok 19 Trigonometrické určenie výšok totálnou stanicou [18]	30
Obrázok 20 Možnosti multistanice [21]	31
Obrázok 21 Princíp mobilného skenovania [23]	32
Obrázok 22 Poloha projektu [24].....	33
Obrázok 23 Projekt Novolíšeňská	34
Obrázok 24 Rozdiel povrchov [25]	34
Obrázok 25 Trimble DiNi 03 [26]	36
Obrázok 26 Okrúhly nadstavec na pätku laty	38
Obrázok 27 Rozmeranie profilu pásmom [25]	38
Obrázok 28 Princíp vynulovania Dipsticku [28]	41
Obrázok 29 Meranie Dipstickom [25]	41
Obrázok 30 Vzor exportu zo softwaru RoadFace.....	42
Obrázok 31 Vzor vyhotoveného profilu softwarom RoadFace	42
Obrázok 32 Cestná lata s meračským klinom [25]	45

Obrázok 33 Trimble S8 [29]	46
Obrázok 34 Meranie s Trimble S8 [25]	47
Obrázok 35 Faro Focus 3D [32] a vlíčovacie gule [33]	50
Obrázok 36 Skenovanie pomocou Faro Focus 3D [25].....	51
Obrázok 37 Spojené mračno bodov	52
Obrázok 38 Príklad chyby DMT	53
Obrázok 39 Leica Nova MS60 [35].....	56
Obrázok 40 Optimalizácia DMT - vľavo pred, vpravo po	58
Obrázok 41 Príklad profilu na prekryte dvoch DMT	59
Tabuľka 1 Klasifikačné stupne podľa hodnôt IRI a C [11]	17
Tabuľka 2 Požadované opatrenia podľa klasifikačného stupňa nerovnosti [11].....	17
Tabuľka 3 Klasifikačné stupne na základe hodnoty R [7].....	19
Tabuľka 4 Vyhodnotenie oddielov medzi bodmi bodového poľa	35
Tabuľka 5 Porovnanie výšok v etape 0 a 1	35
Tabuľka 6 Skúška prístroja pred justážou	37
Tabuľka 7 Skúška prístroja po justáži	37
Tabuľka 8 Offset okrúhleho nadstavca	37
Tabuľka 9 Výpočet presnosti určenia podrobného bodu presnou niveláciou.....	39
Tabuľka 10 Výpočet presnosti určenia stabilizovaného bodu presnou niveláciou.....	40
Tabuľka 11 Vyhodnotenie presnosti merania presnou niveláciou	40
Tabuľka 12 Výpočet presnosti určenia podrobného bodu profilomerom Dipstick	43
Tabuľka 13 Vyhodnotenie presnosti merania profilomerom Dipstick	44
Tabuľka 14 Výpočet presnosti určenia nerovnosti cestnou latou	46
Tabuľka 15 Výpočet presnosti určenia podrobného bodu totálnou stanicou.....	48
Tabuľka 16 Výpočet presnosti určenia stabilizovaného bodu totálnou stanicou.....	48
Tabuľka 17 Vyhodnotenie presnosti merania totálnou stanicou	49
Tabuľka 18 Hodnoty δ_{PNTS}	49
Tabuľka 19 Výpočet presnosti určenia podrobného bodu statickým skenerom.....	54
Tabuľka 20 Hodnoty δ_{PNSS}	55
Tabuľka 21 Hodnoty δ_{DSSS}	55
Tabuľka 22 Výpočet presnosti určenia podrobného bodu multistanicou	58
Tabuľka 23 Porovnanie DMT na bodoch na prekrytoch	59

Tabuľka 24 Hodnoty δ_{PNMS}	60
Tabuľka 25 Hodnoty δ_{DSMS}	61
Tabuľka 26 Odhad presnosti určenia parametru L4m presnou niveláciou.....	65
Tabuľka 27 Odhad presnosti určenia parametru L4m totálnou stanicou.....	65
Tabuľka 28 Odhad presnosti určenia parametru L4m statickým skenerom.....	65
Tabuľka 29 Odhad presnosti určenia parametru L4m multistanicou	66
Tabuľka 30 Porovnanie hodnôt parametru L4m nameraného cestnou latou s referenčnými hodnotami	67
Tabuľka 31 Odhad presnosti určenia parametru L4m cestnou latou	67
Tabuľka 32 Odhad presnosti určenia parametru L2m profilomerom Dipstick	68
Tabuľka 33 Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného cestnou latou s referenčnými hodnotami	69
Tabuľka 34 Vyhodnotenie praktického využitia porovnávaných metód.....	73

ZOZNAM SKRATIEK

S-JTSK	Systém Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej
Bpv	Balt po vyrovnání
ČSN	Česká státní norma
GNSS	Globálne navigačné systémy (Global navigation satellite system)
IMU	Inerciálna meracia jednotka (Inercial measurement unit)
IRI	Medzinárodný index nerovnosti (International roughness index)
DMT	Digitálny model terénu
BOZP	Bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci

ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha č. 1: Profily (číselne)
- Príloha č. 2: Referenčné profily
- Príloha č. 3: Odchýlky od referenčného pozdĺžneho profilu
- Príloha č. 4: Porovnanie priečných profilov
- Príloha č. 5: Parameter IRI
- Príloha č. 6: Parameter L4m
- Príloha č. 7: Parameter L2m

Príloha č. 1

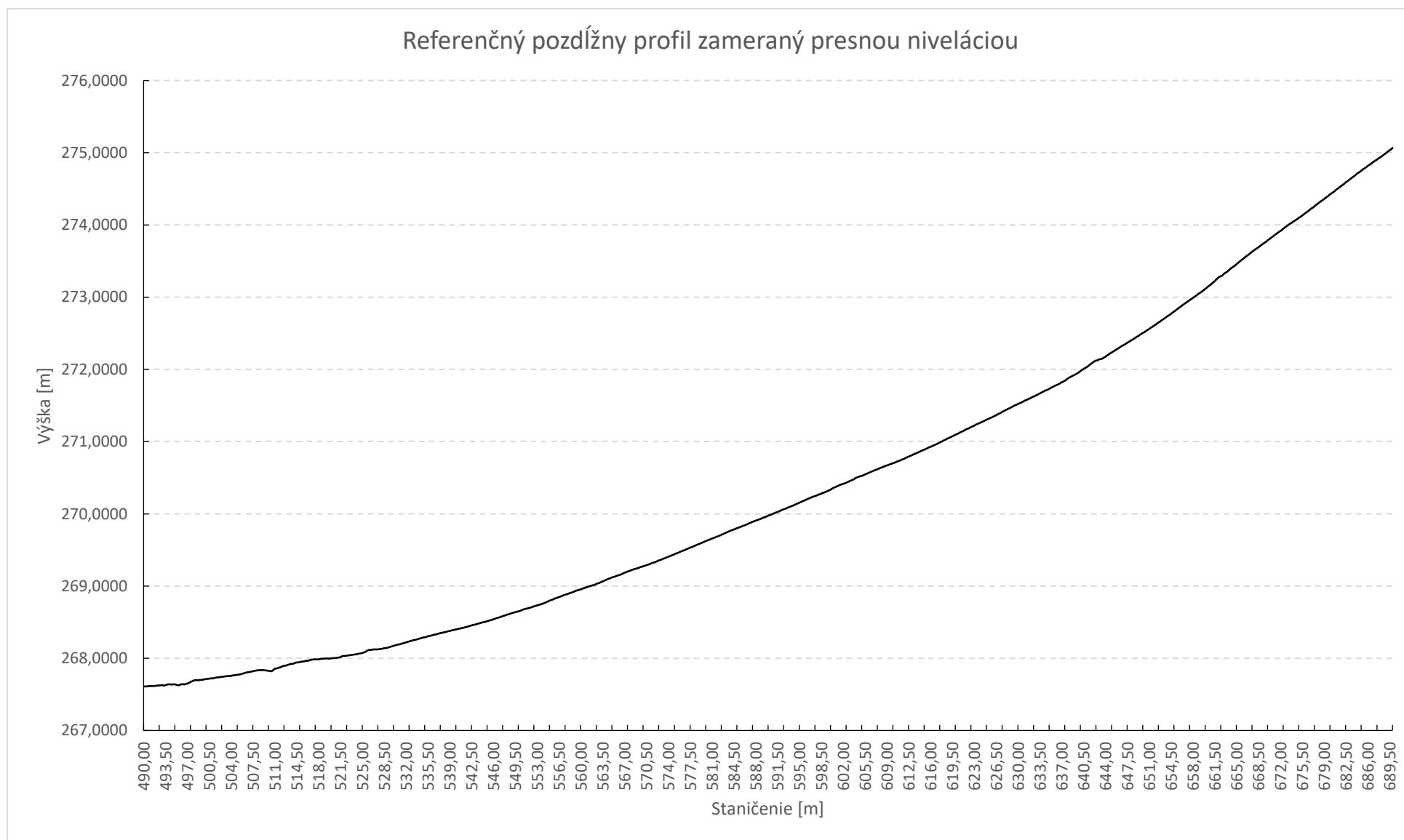
Profily (číselne)

Samostatná elektronická príloha

Príloha č. 2

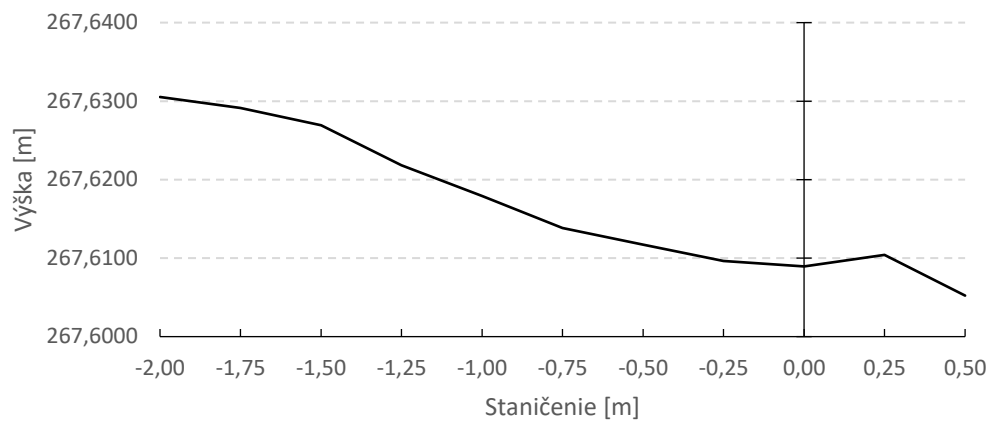
Referenčné profily

Príloha č. 2: Referenčné profily

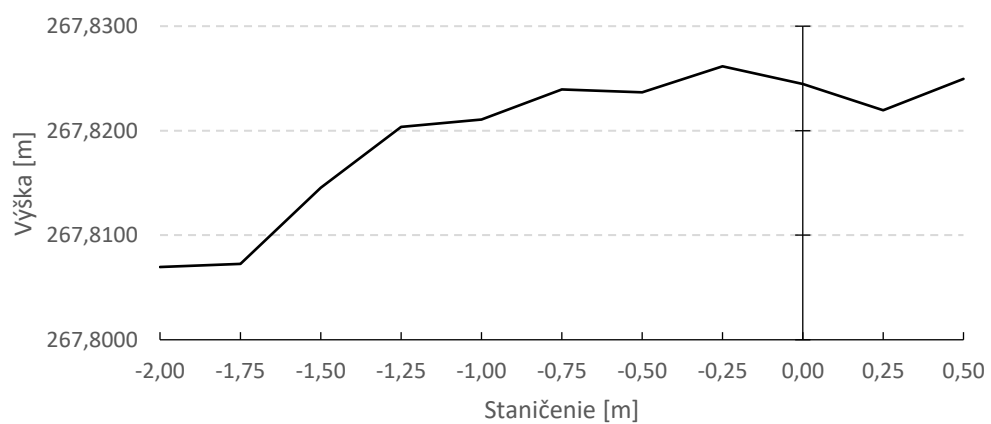


Príloha č. 2: Referenčné profily

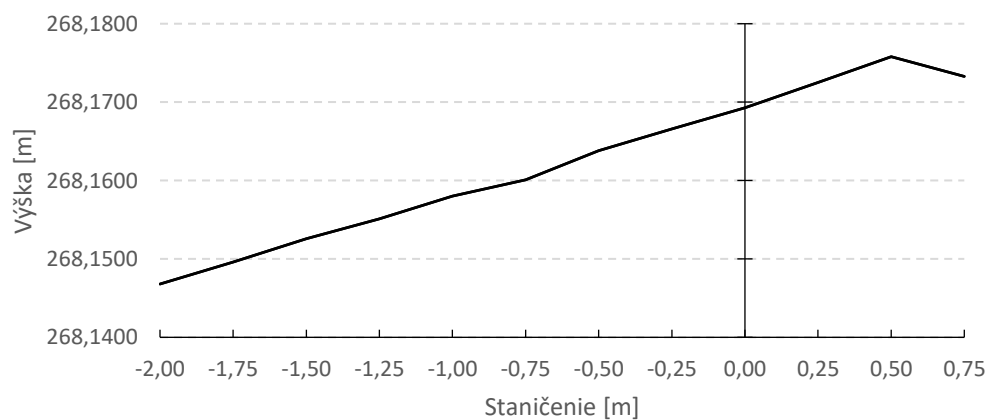
Referenčný priečný profil 490 zameraný profilomerom
Dipstick



Referenčný priečný profil 510 zameraný profilomerom
Dipstick

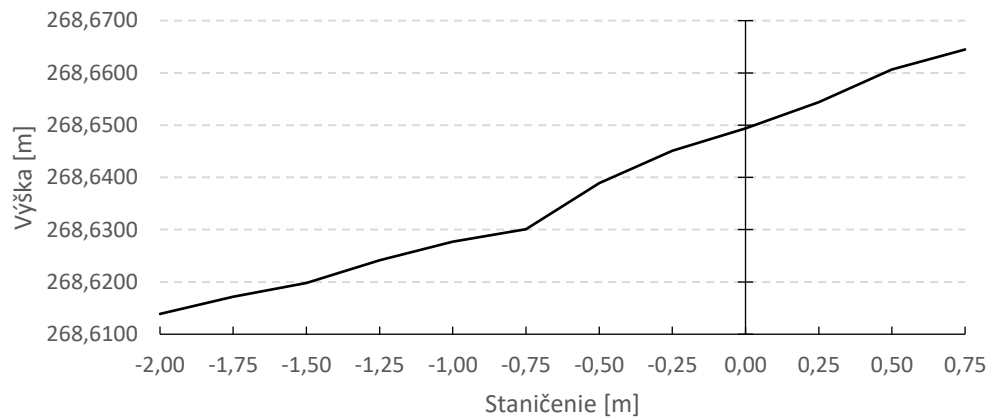


Referenčný priečný profil 530 zameraný profilomerom
Dipstick

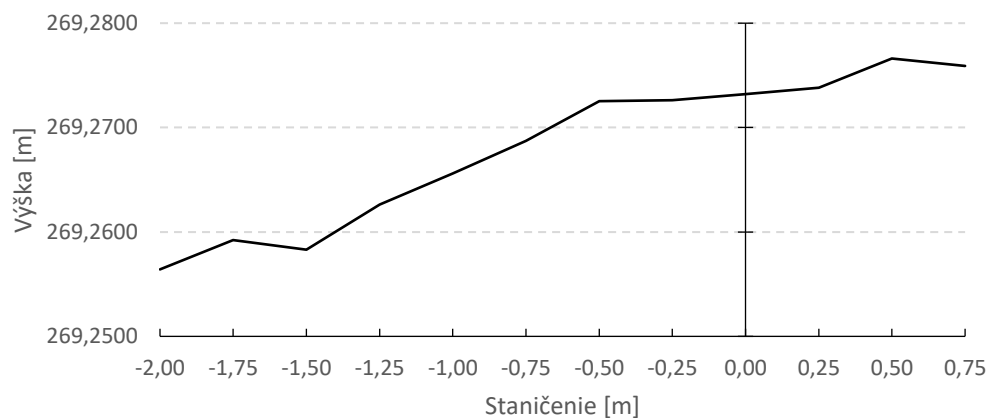


Príloha č. 2: Referenčné profily

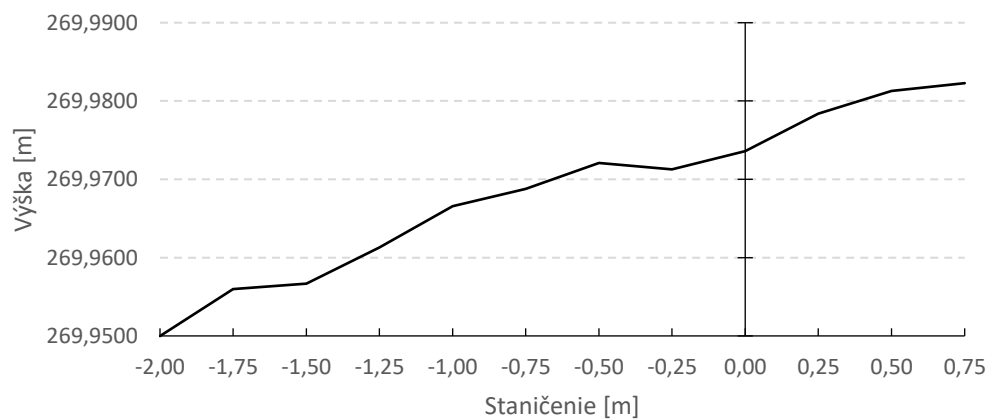
Referenčný priečný profil 550 zameraný profilomerom
Dipstick



Referenčný priečný profil 570 zameraný profilomerom
Dipstick

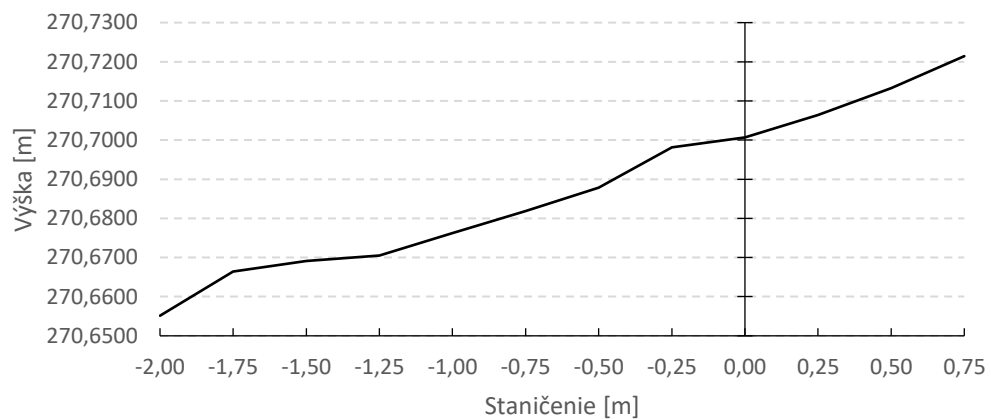


Referenčný priečný profil 590 zameraný profilomerom
Dipstick

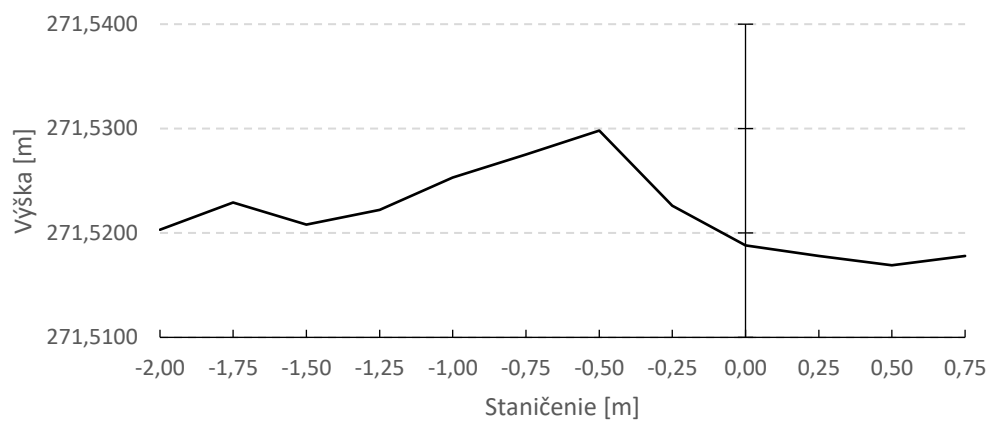


Príloha č. 2: Referenčné profily

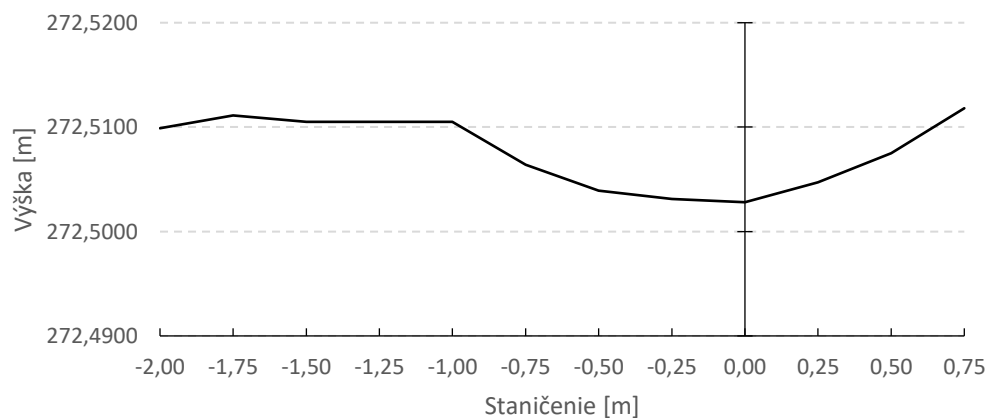
Referenčný priečný profil 610 zameraný profilomerom
Dipstick



Referenčný priečný profil 630 zameraný profilomerom
Dipstick

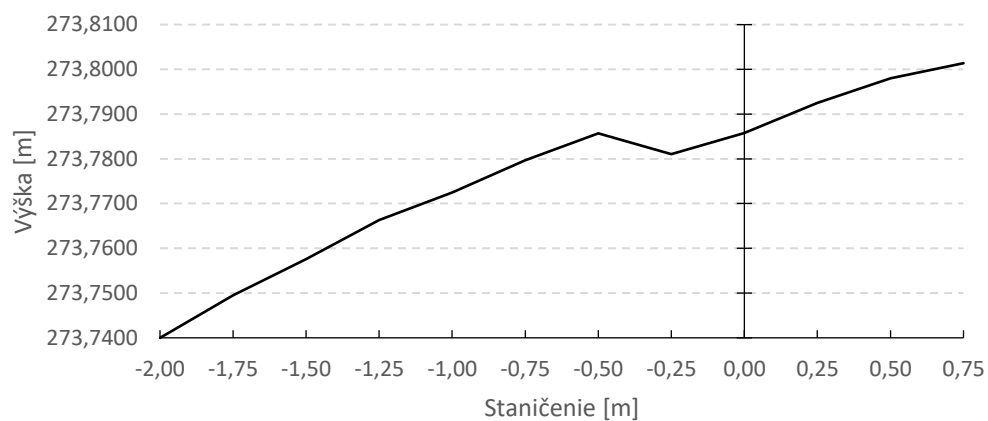


Referenčný priečný profil 650 zameraný profilomerom
Dipstick

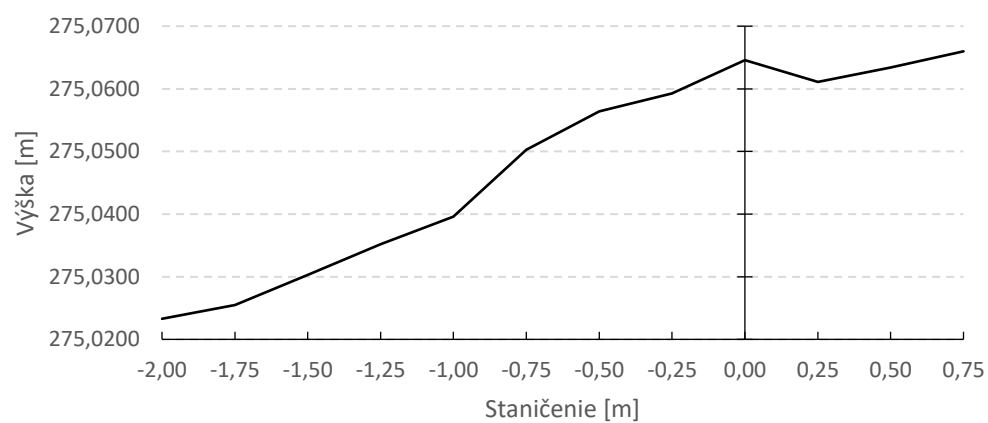


Príloha č. 2: Referenčné profily

Referenčný priečný profil 670 zameraný profilomerom
Dipstick



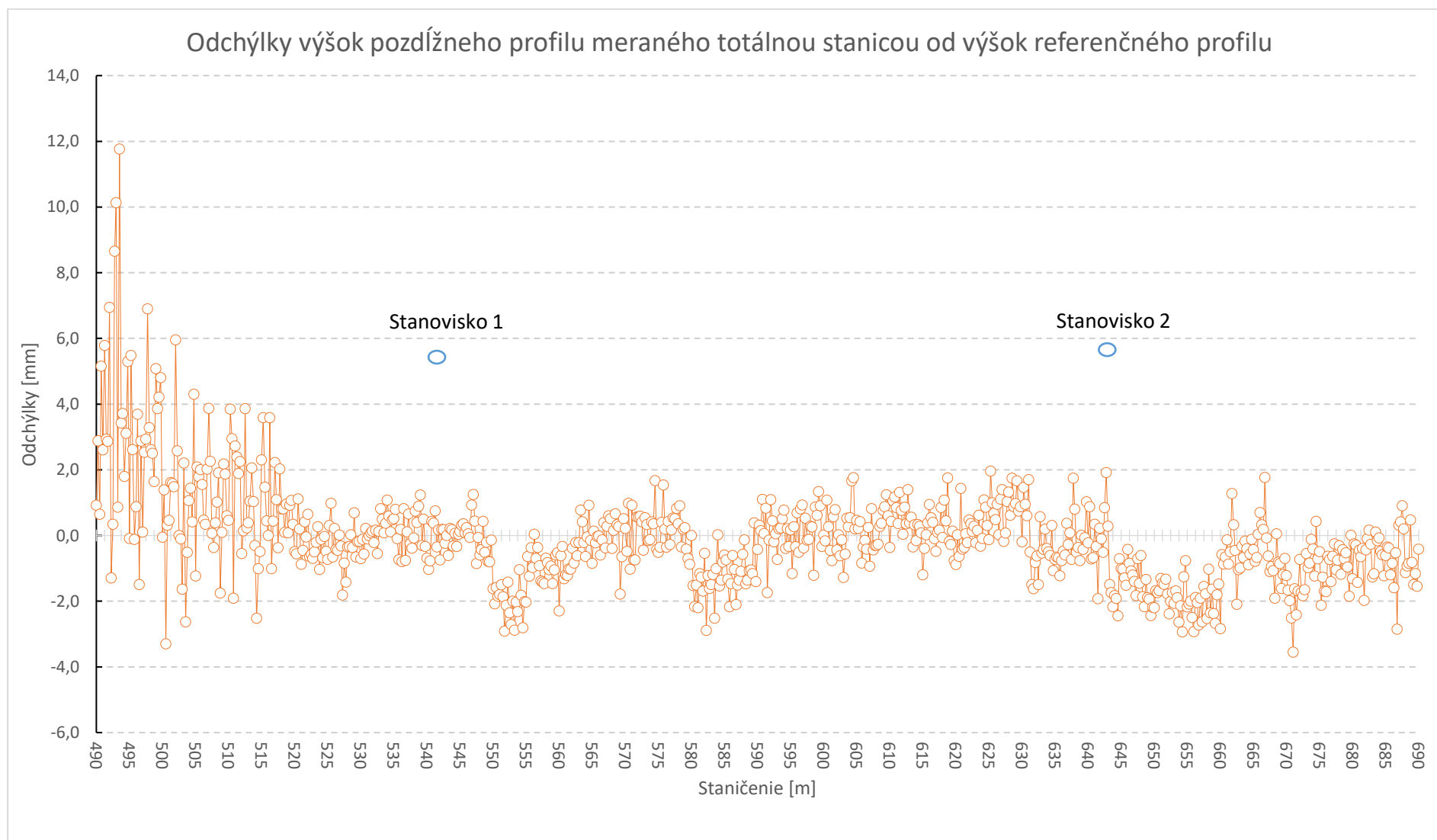
Referenčný priečný profil 690 zameraný
profilomerom Dipstick



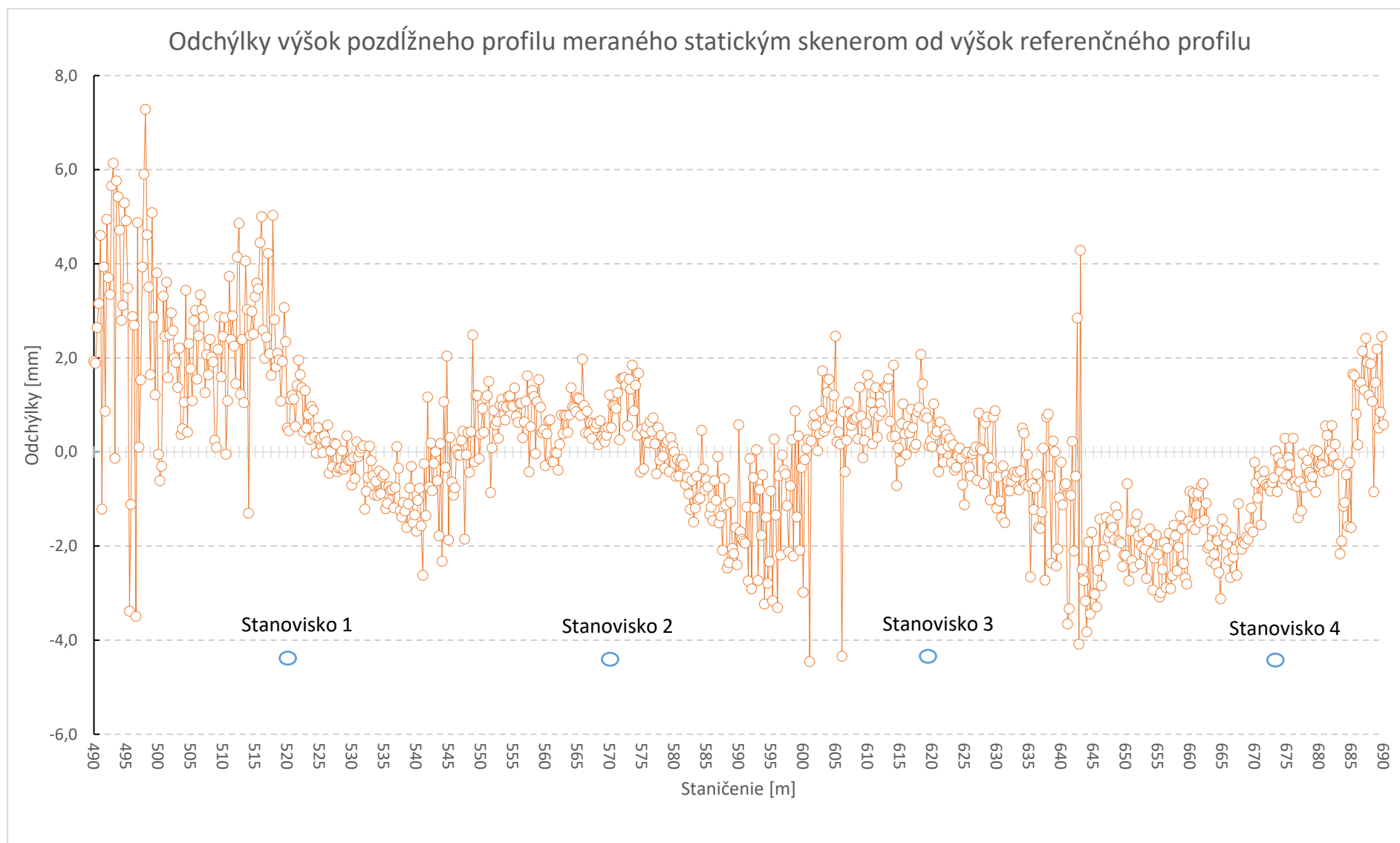
Príloha č. 3

Odchýlky od referenčného pozdĺžneho profilu

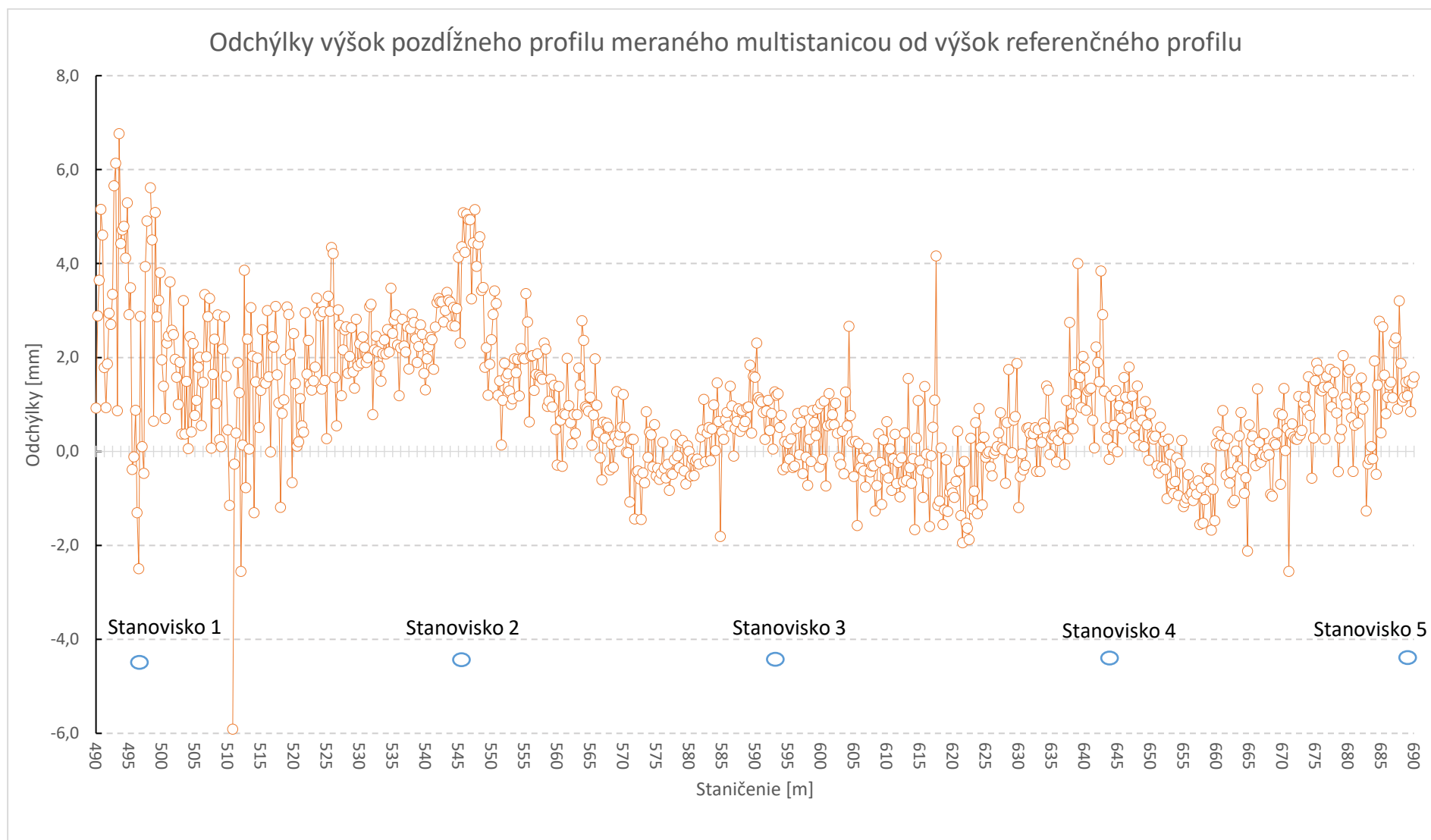
Príloha č. 3: Odchýlky od referenčného pozdĺžneho profilu



Príloha č. 3: Odchýlky od referenčného pozdĺžneho profilu



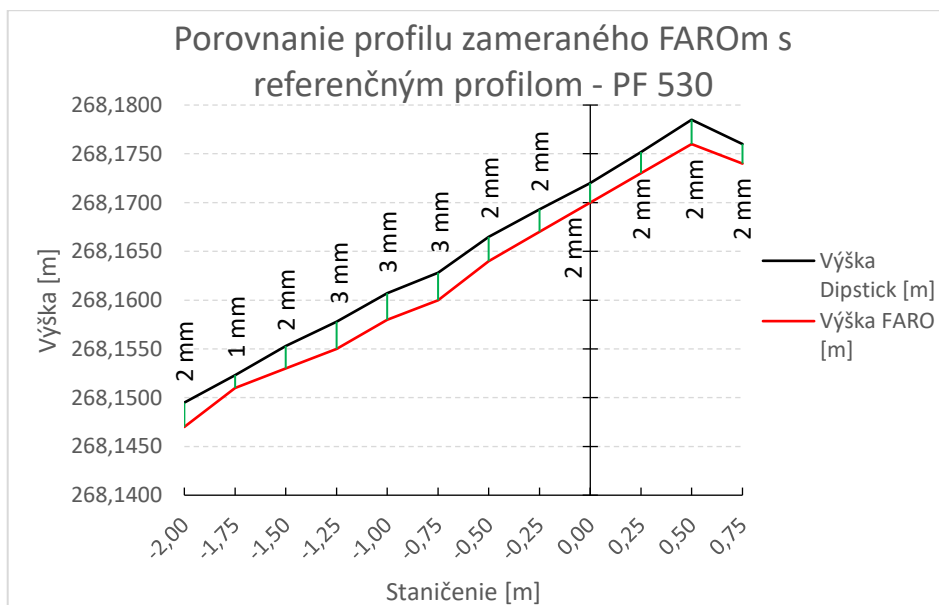
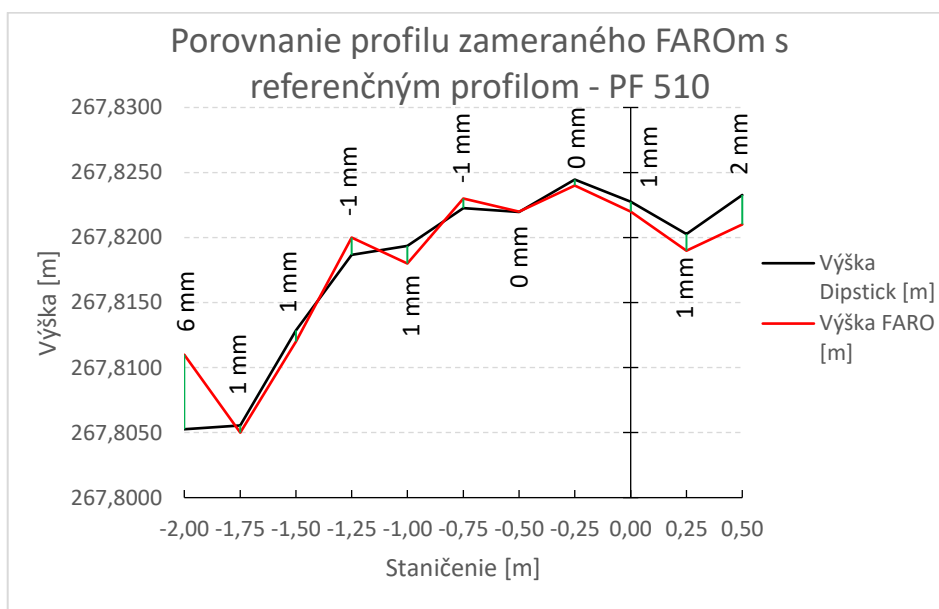
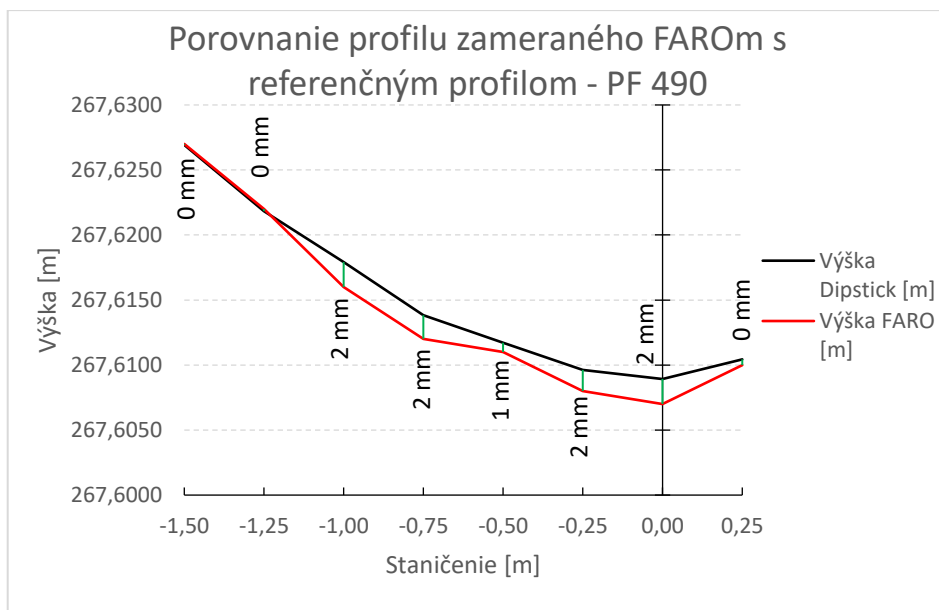
Príloha č. 3: Odchýlky od referenčného pozdĺžneho profilu



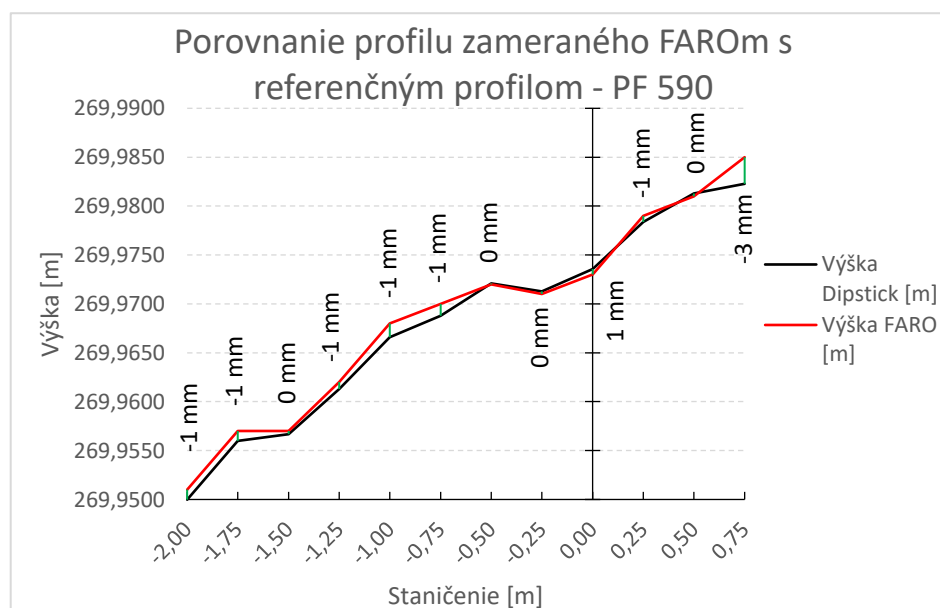
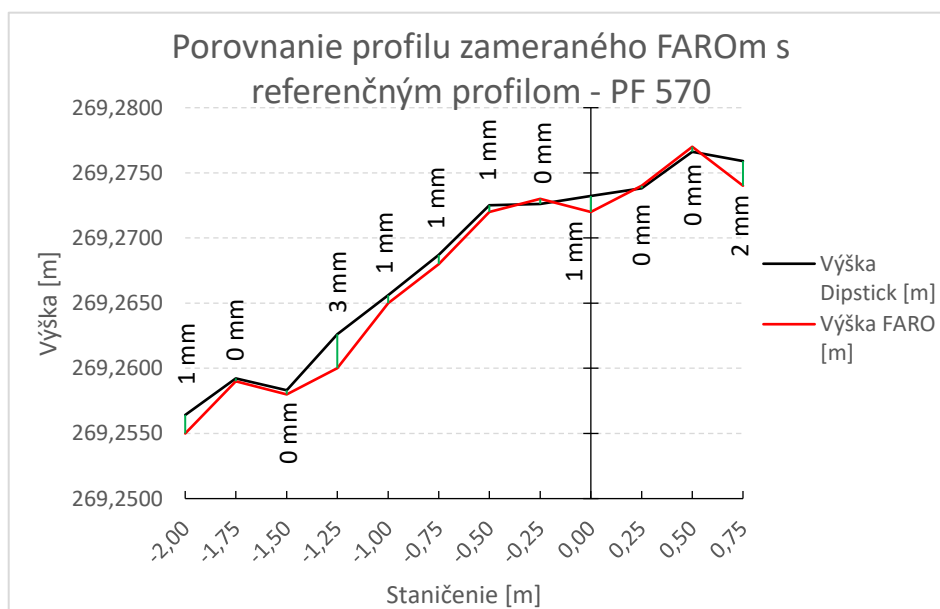
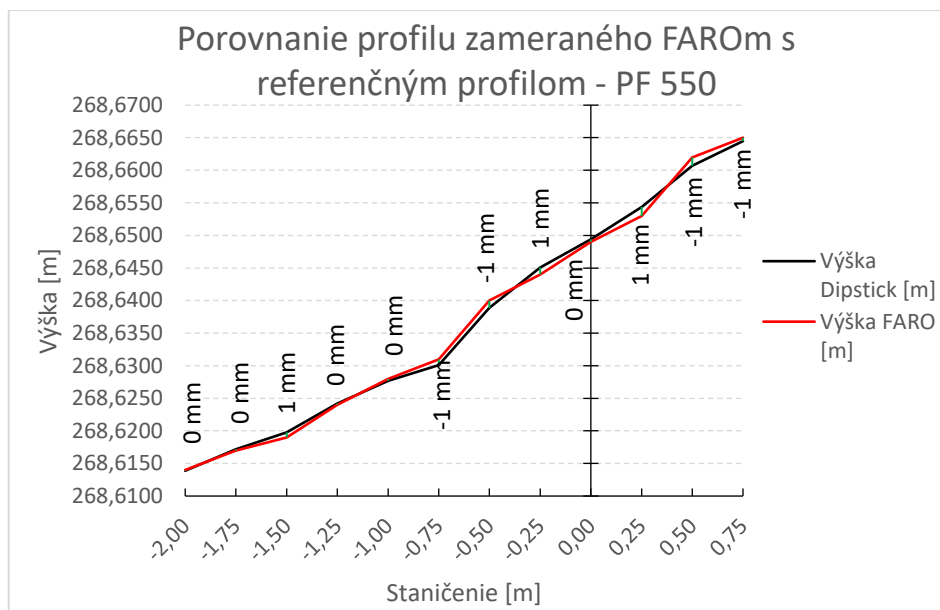
Príloha č. 4

Porovnanie priečných profilov

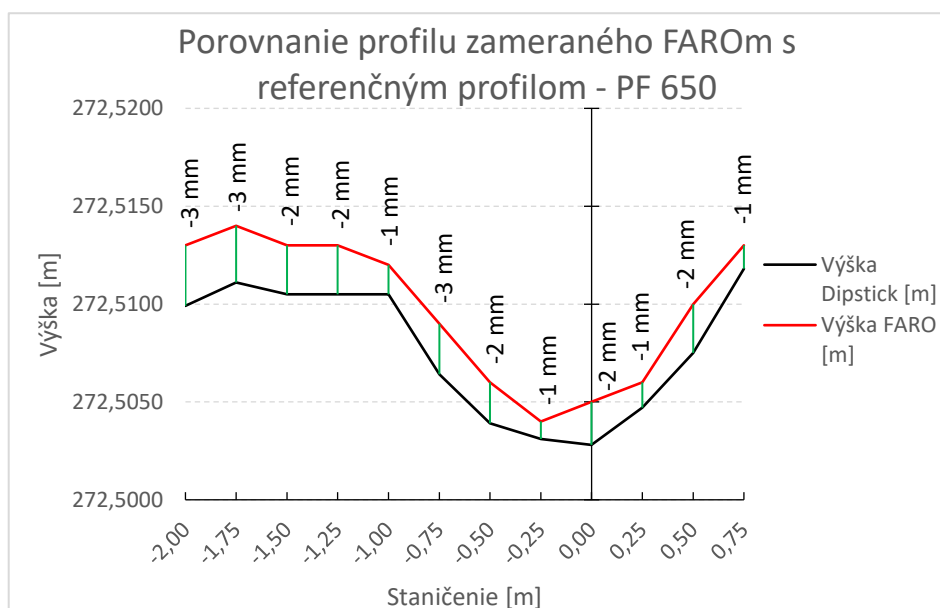
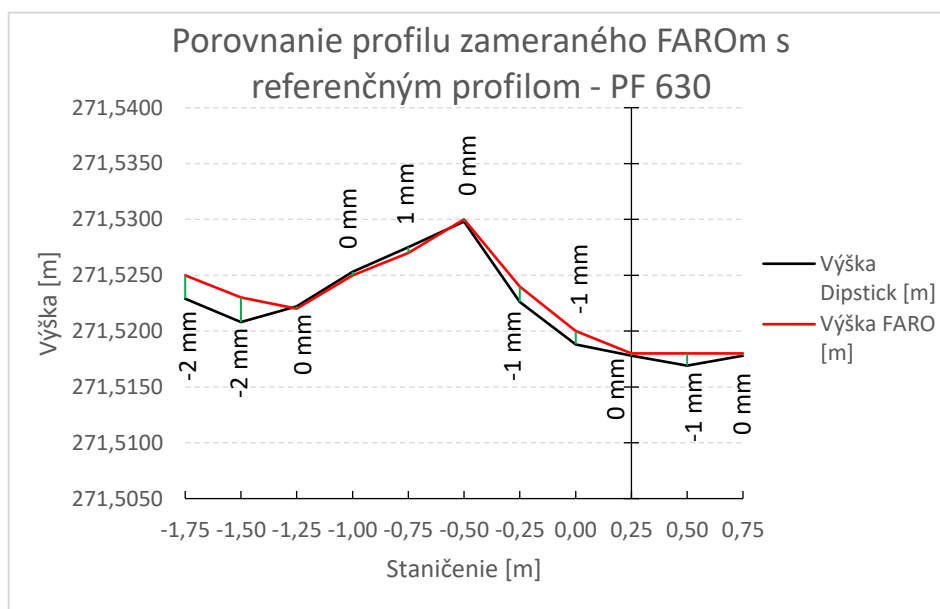
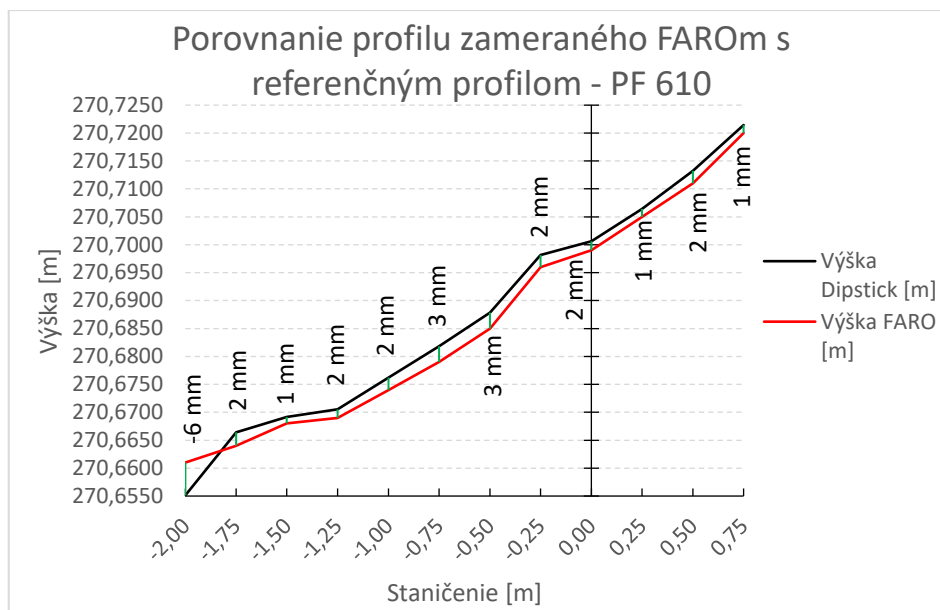
Príloha č. 4: Porovnanie priečných profilov



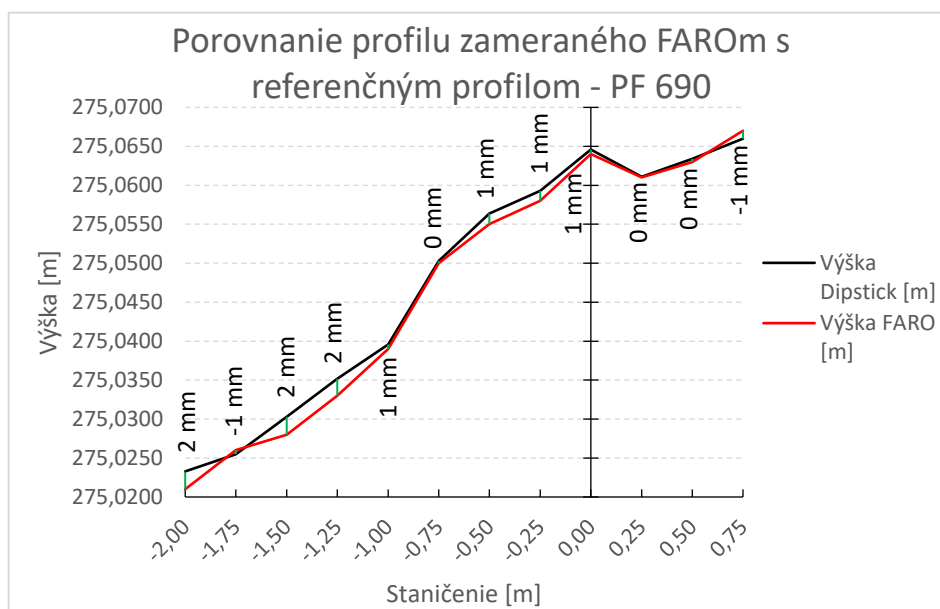
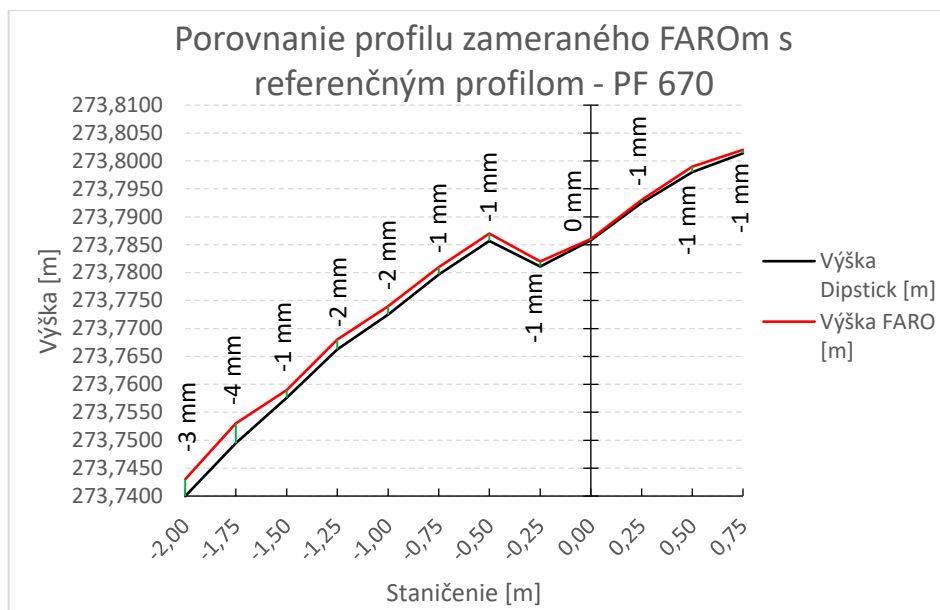
Príloha č. 4: Porovnanie priečných profilov



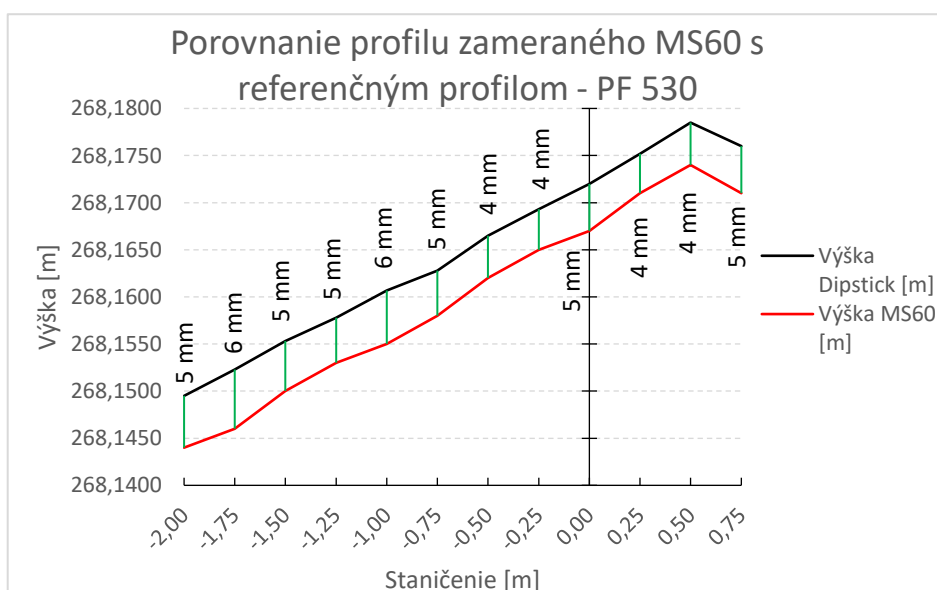
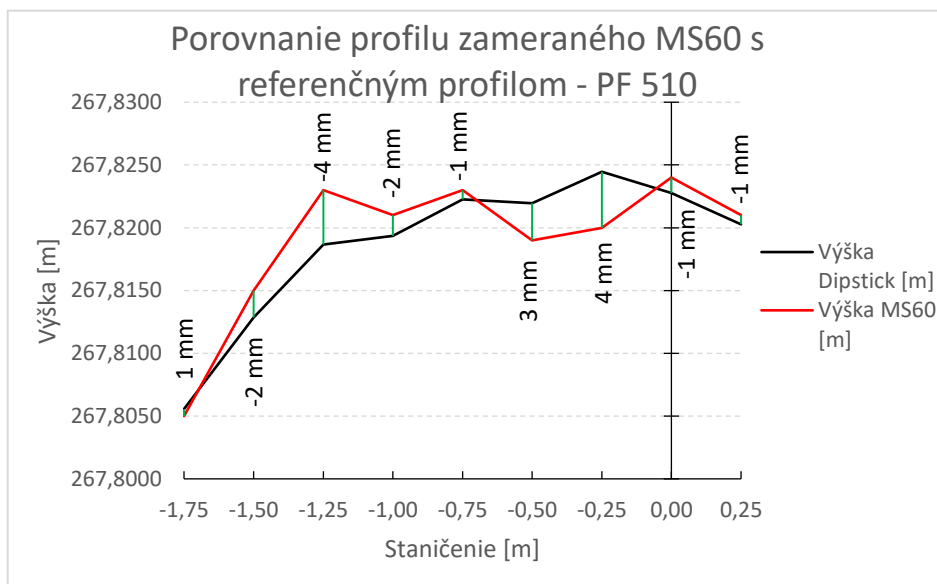
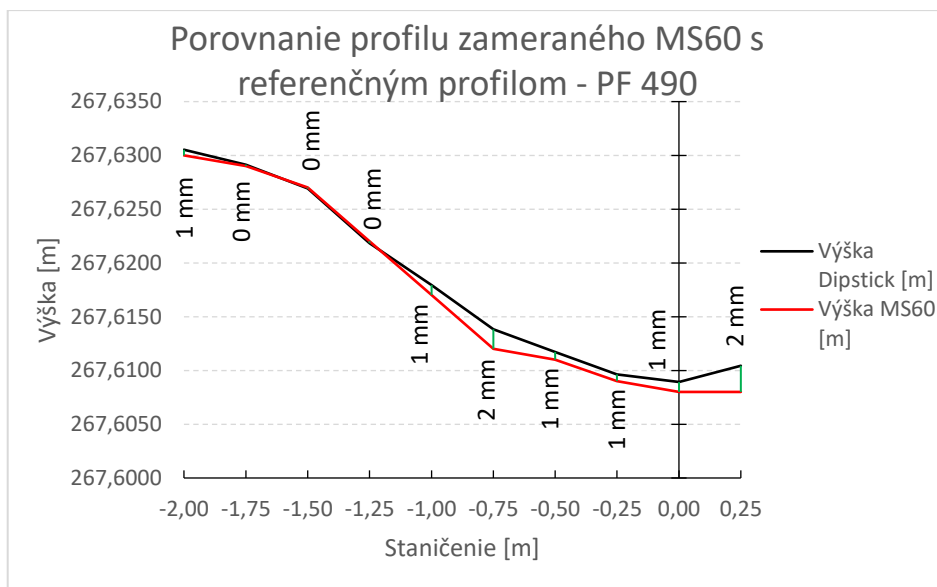
Príloha č. 4: Porovnanie priečných profilov



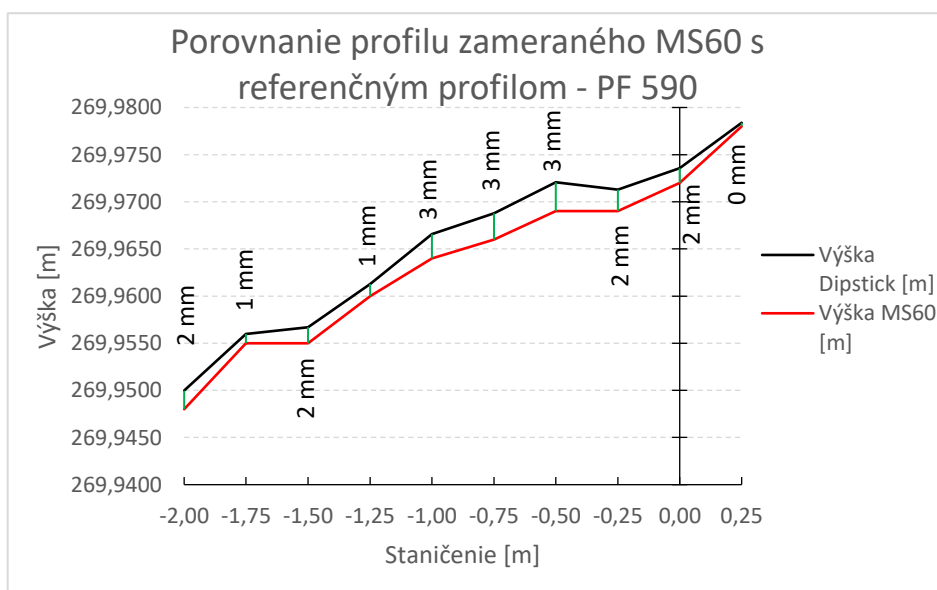
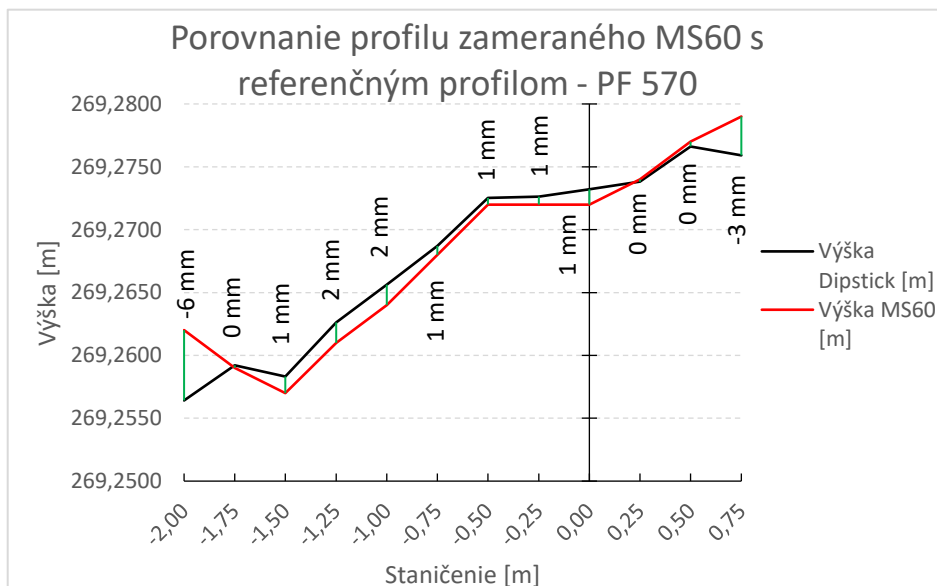
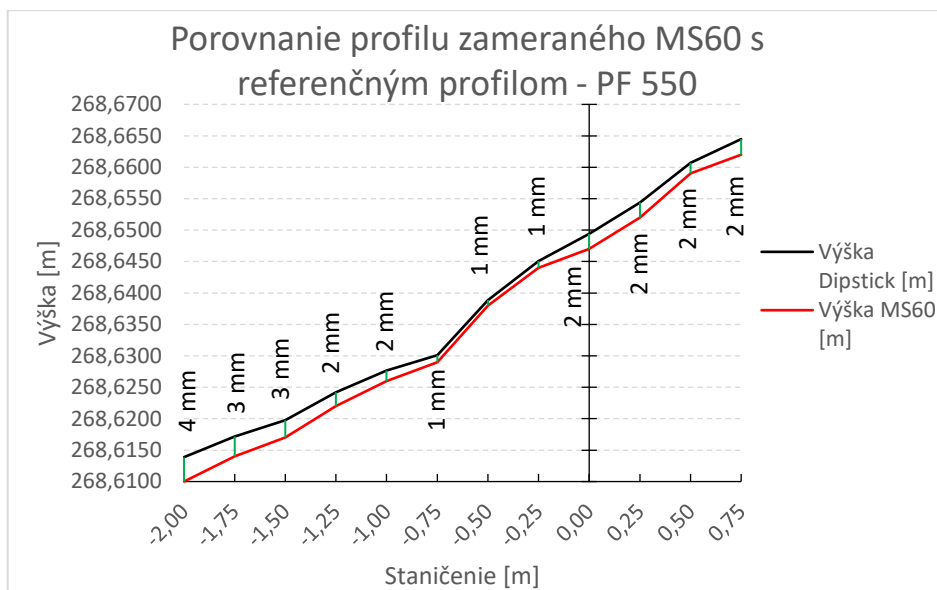
Príloha č. 4: Porovnanie priečných profilov



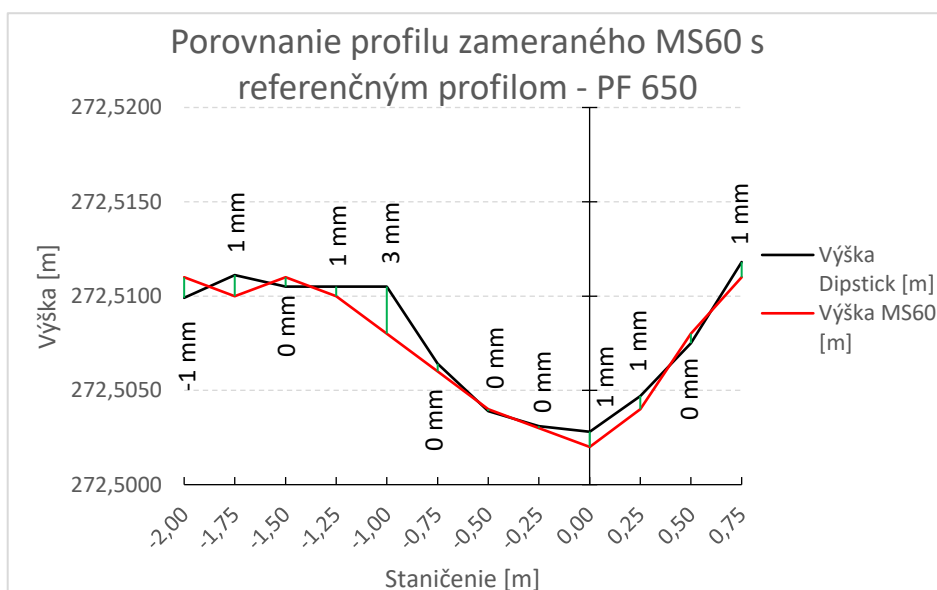
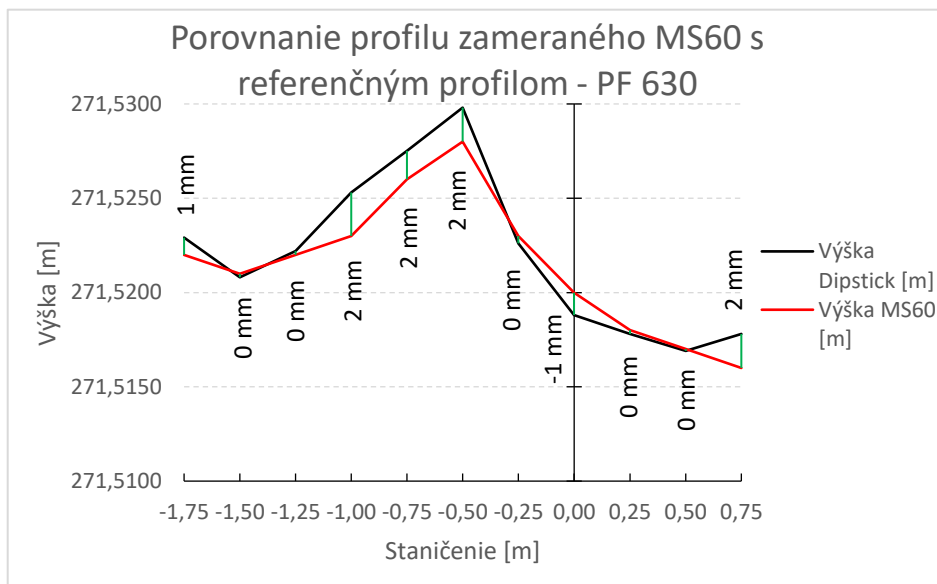
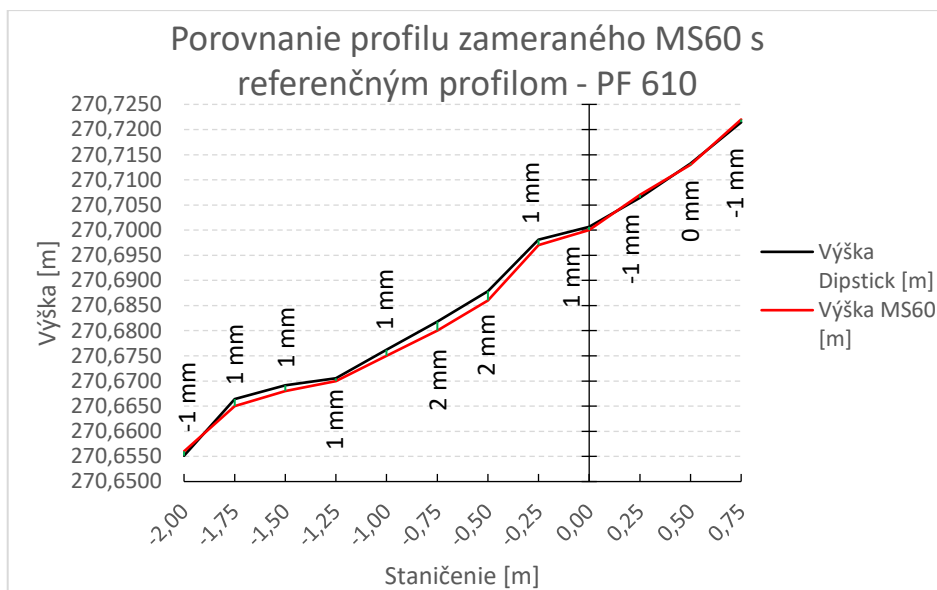
Príloha č. 4: Porovnanie priečných profilov



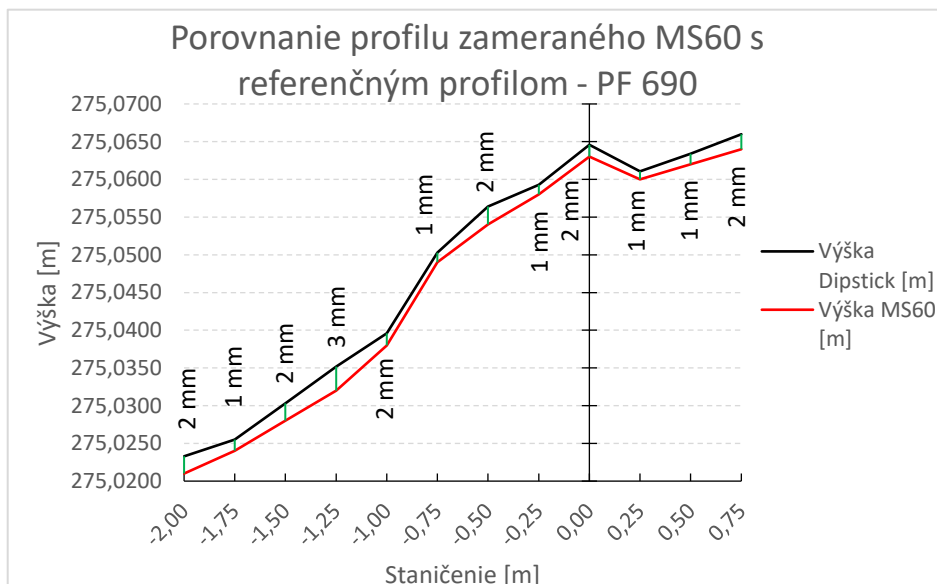
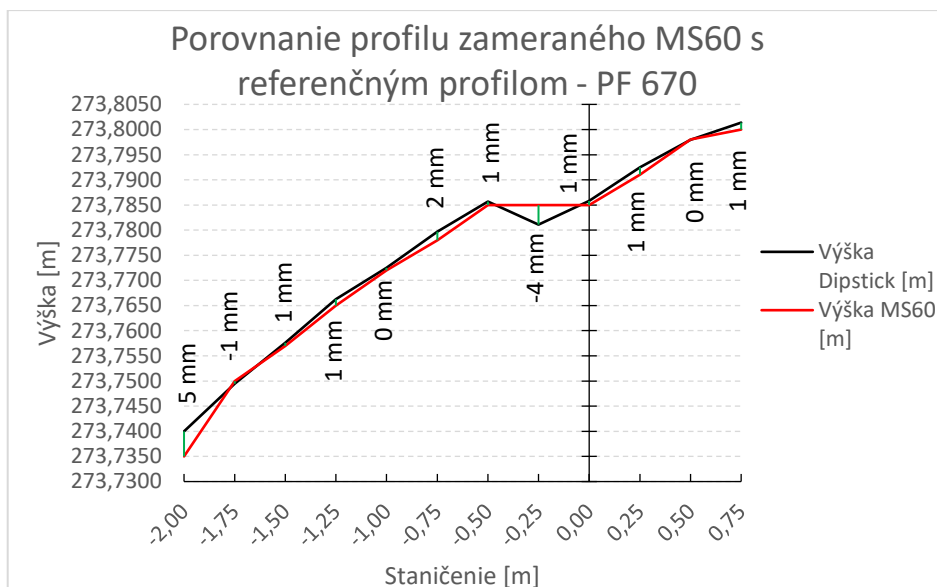
Príloha č. 4: Porovnanie priečných profilov



Príloha č. 4: Porovnanie priečných profilov

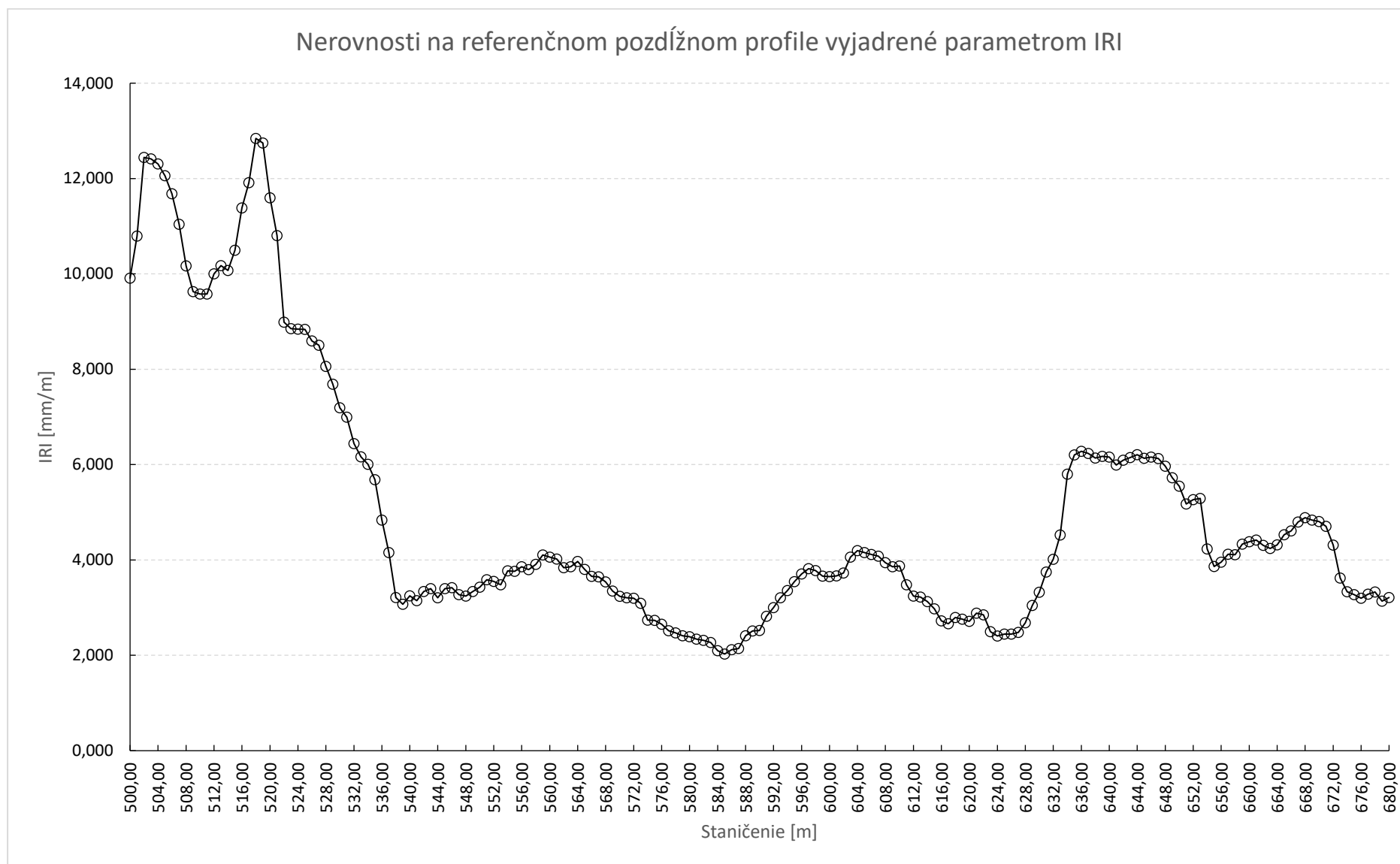


Príloha č. 4: Porovnanie priečných profilov

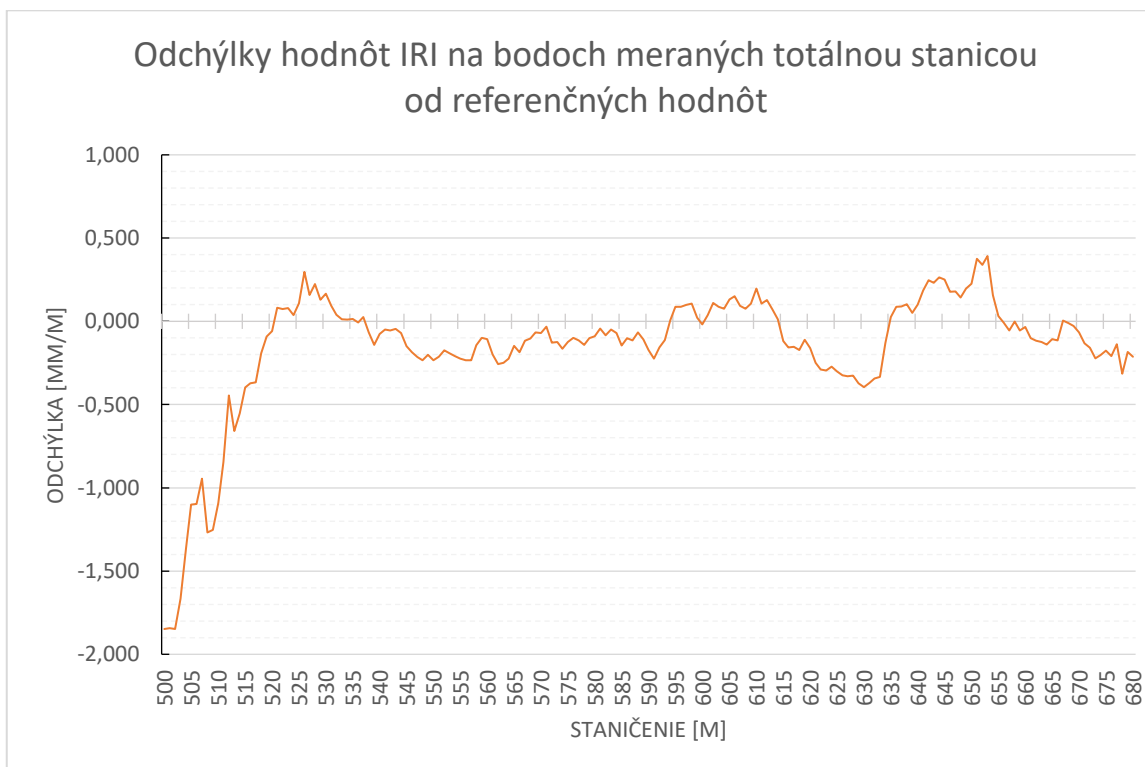
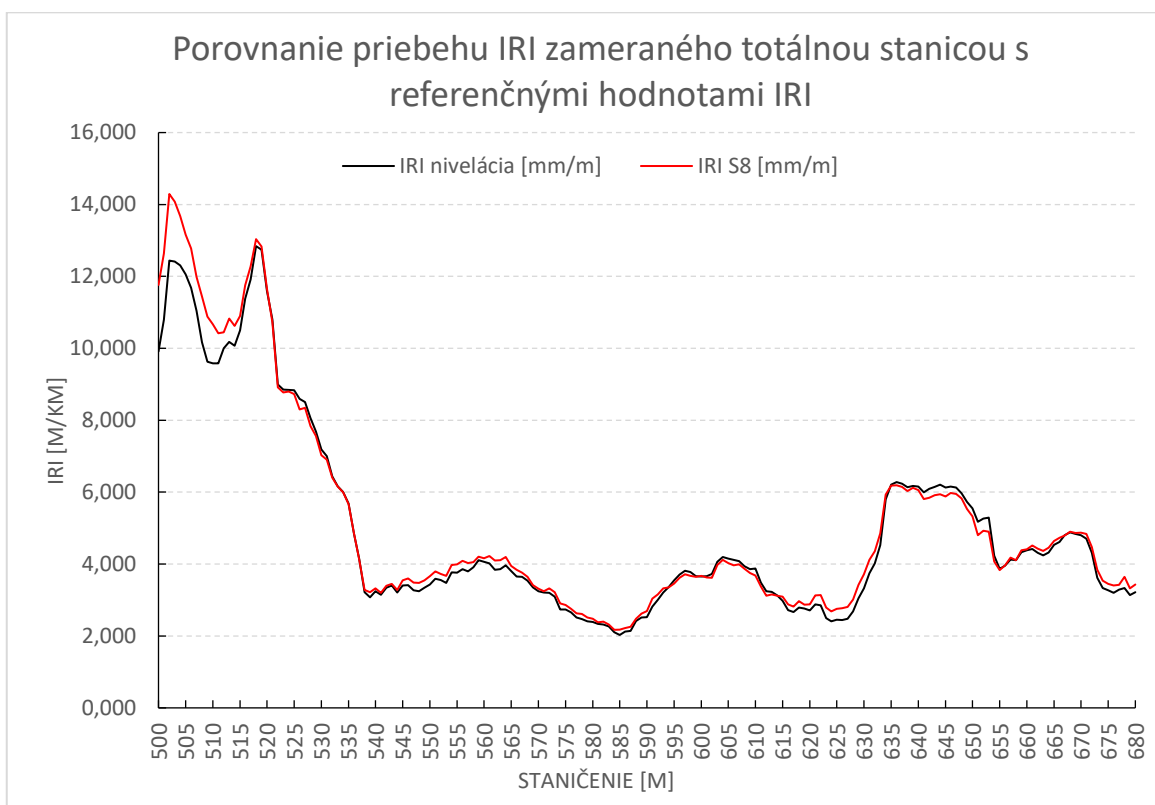


Príloha č. 5

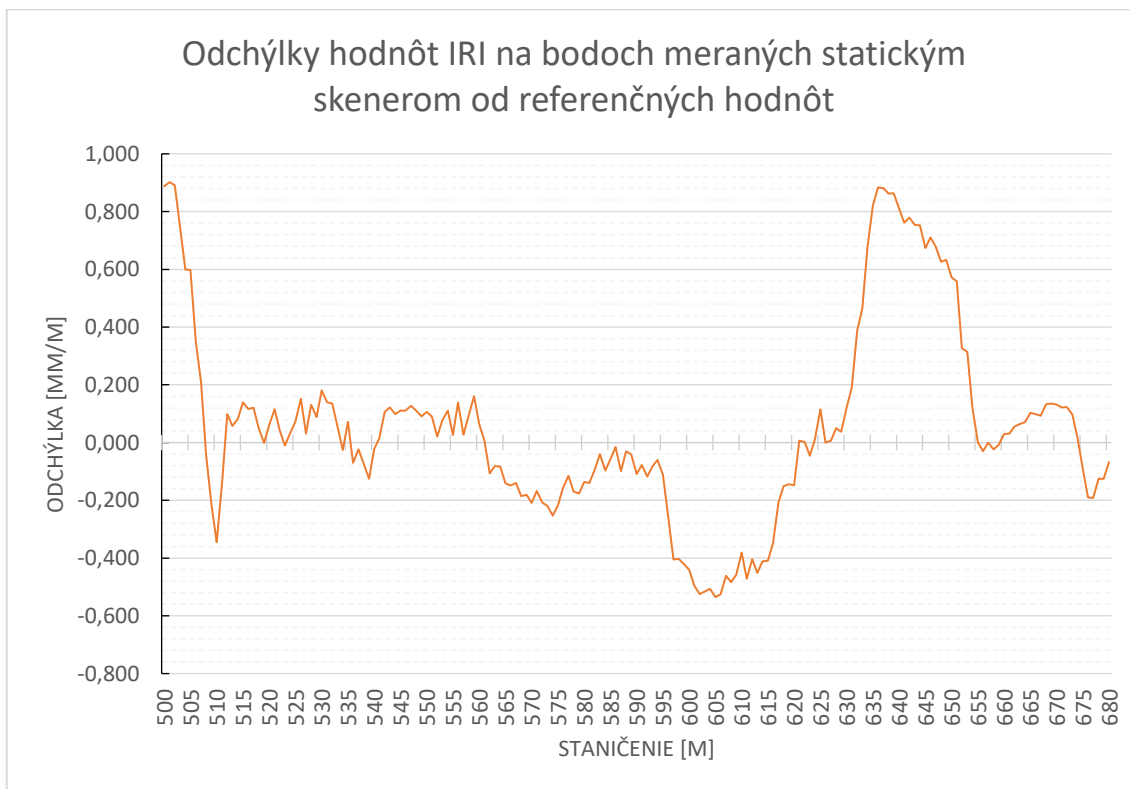
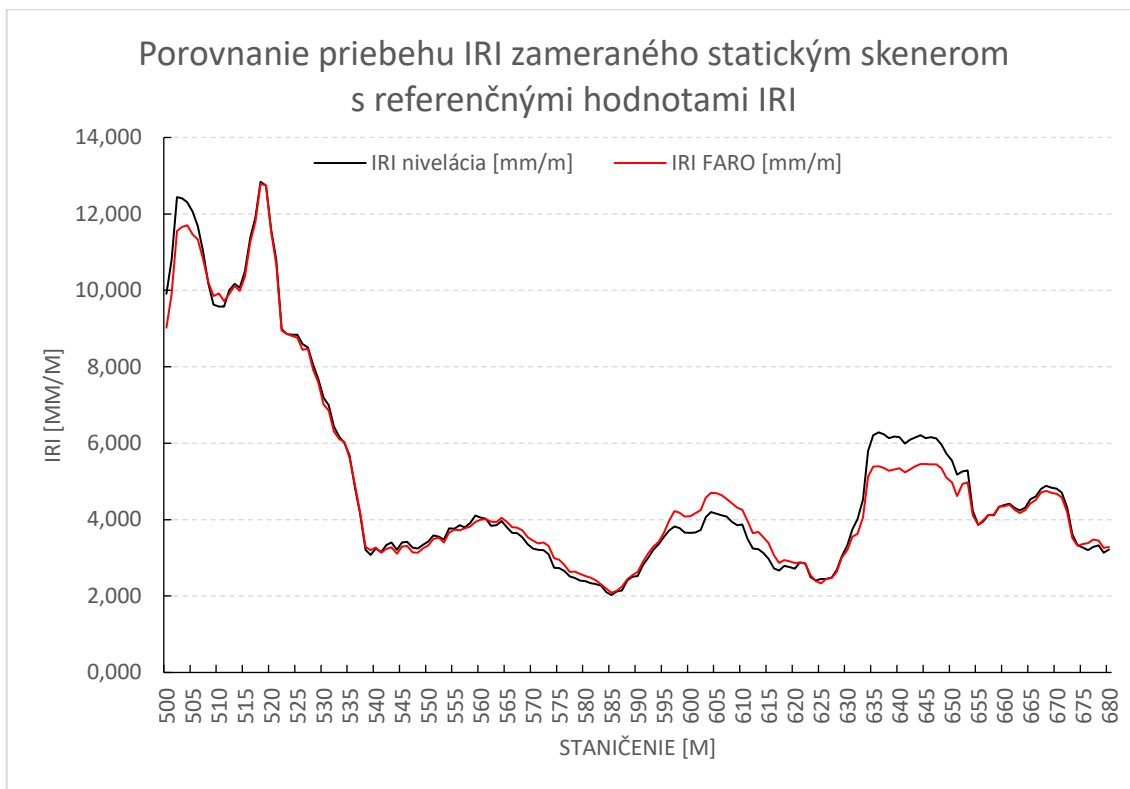
Parameter IRI



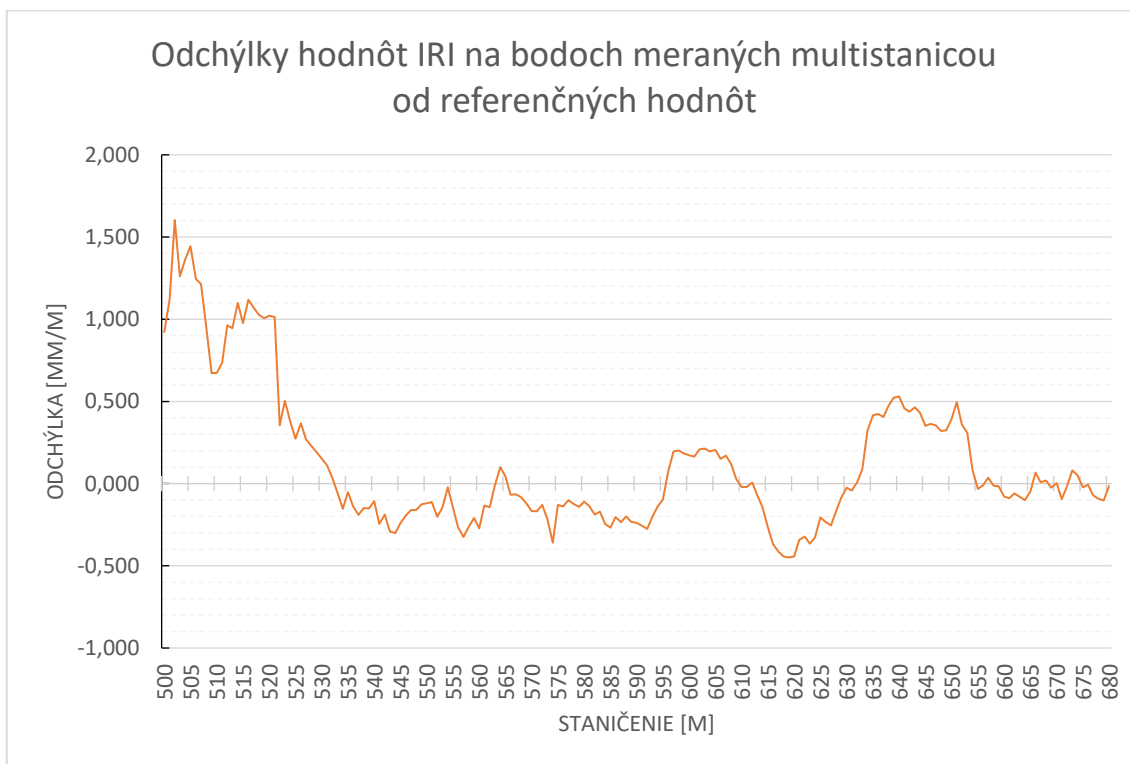
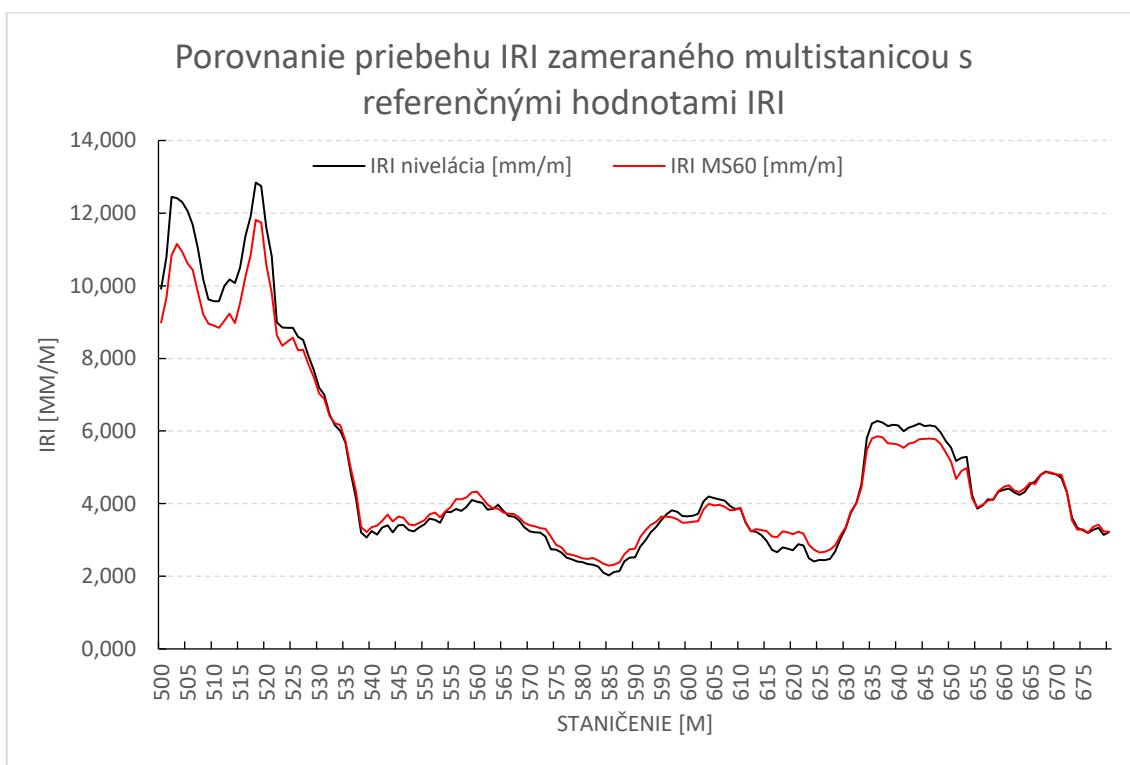
Príloha č. 5: Parameter IRI



Príloha č. 5: Parameter IRI

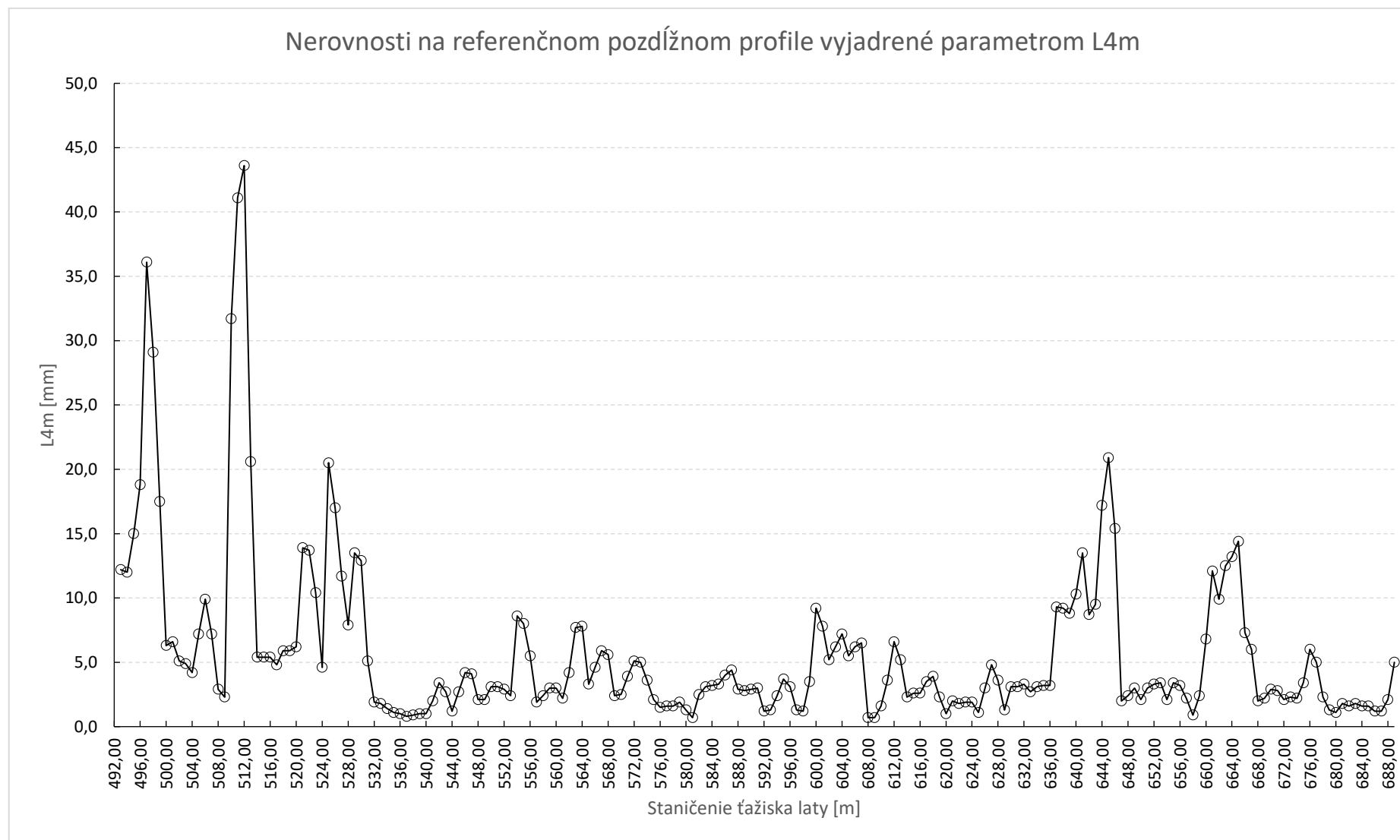


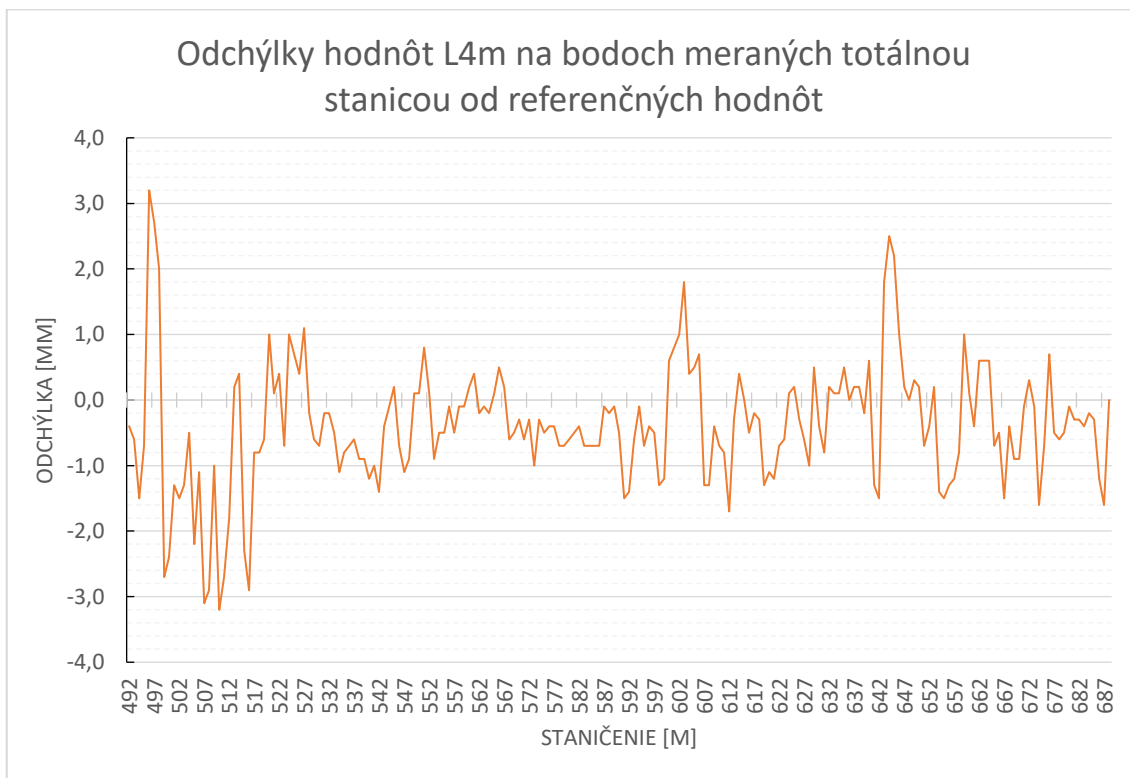
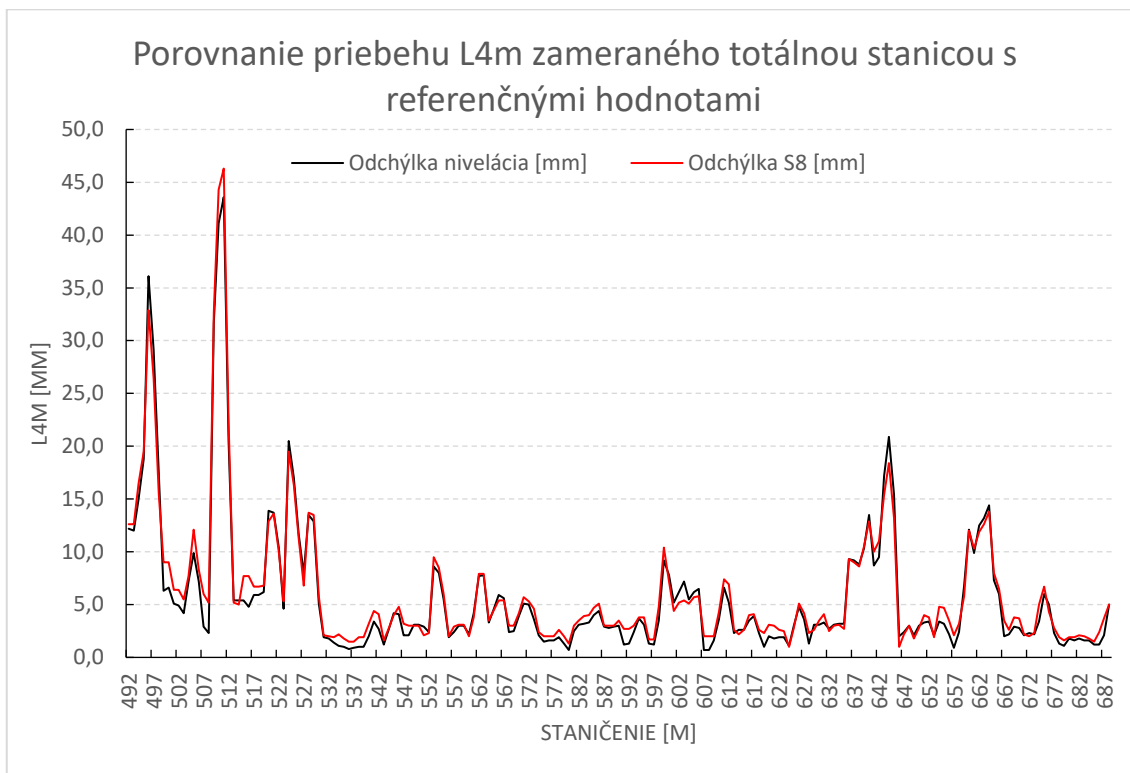
Príloha č. 5: Parameter IRI

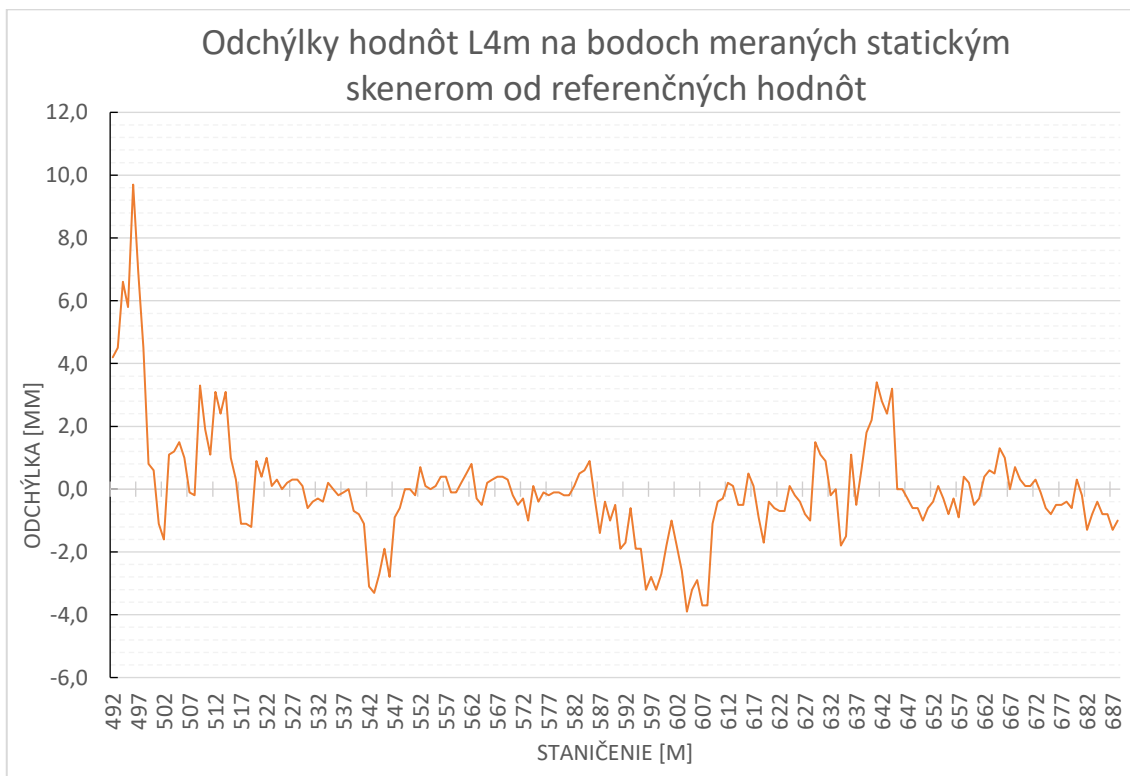
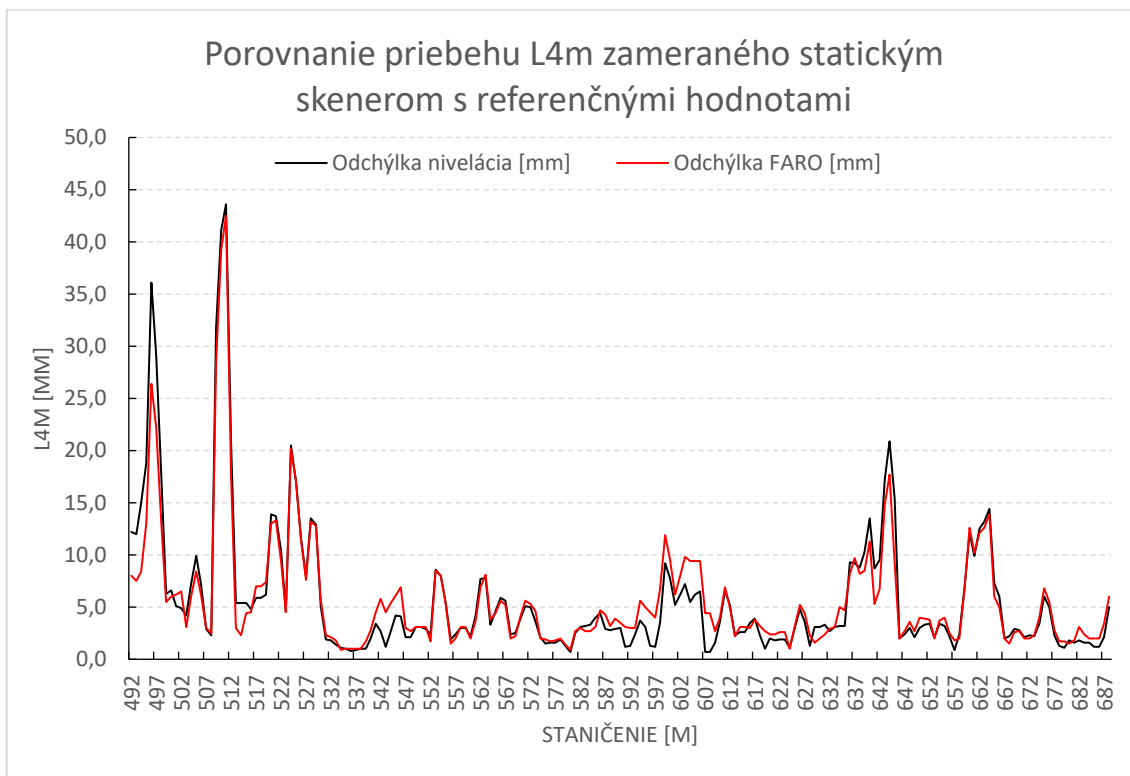


Príloha č. 6

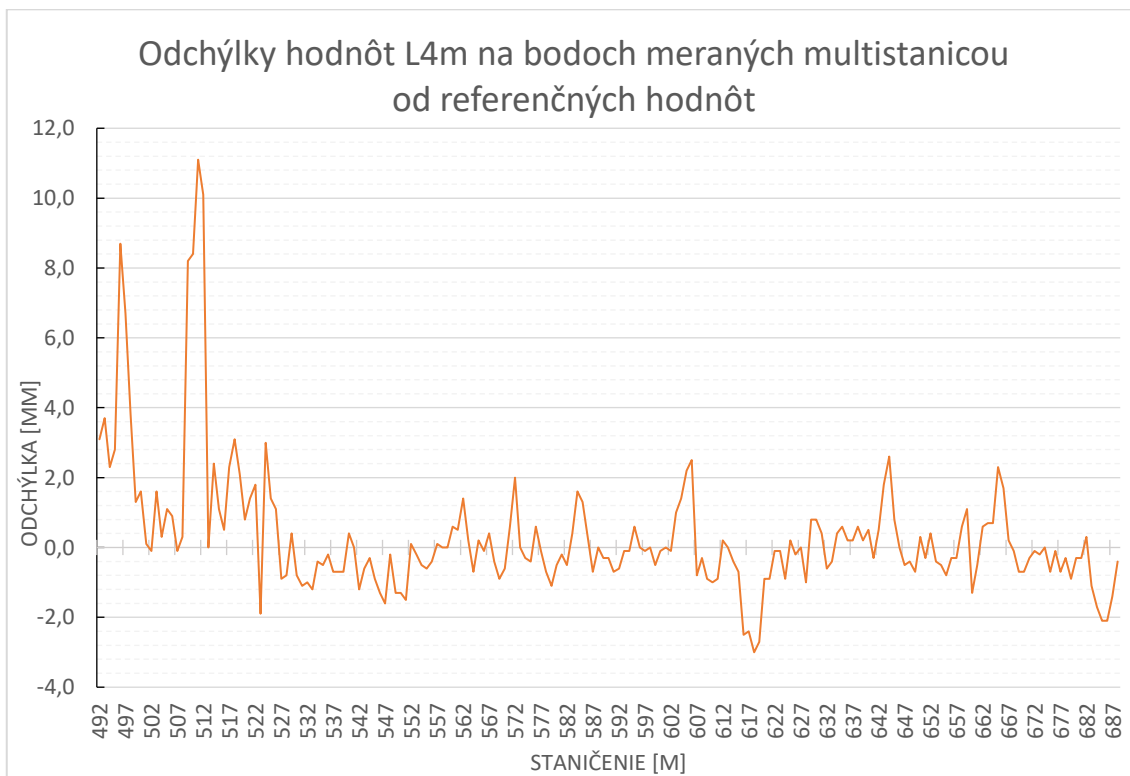
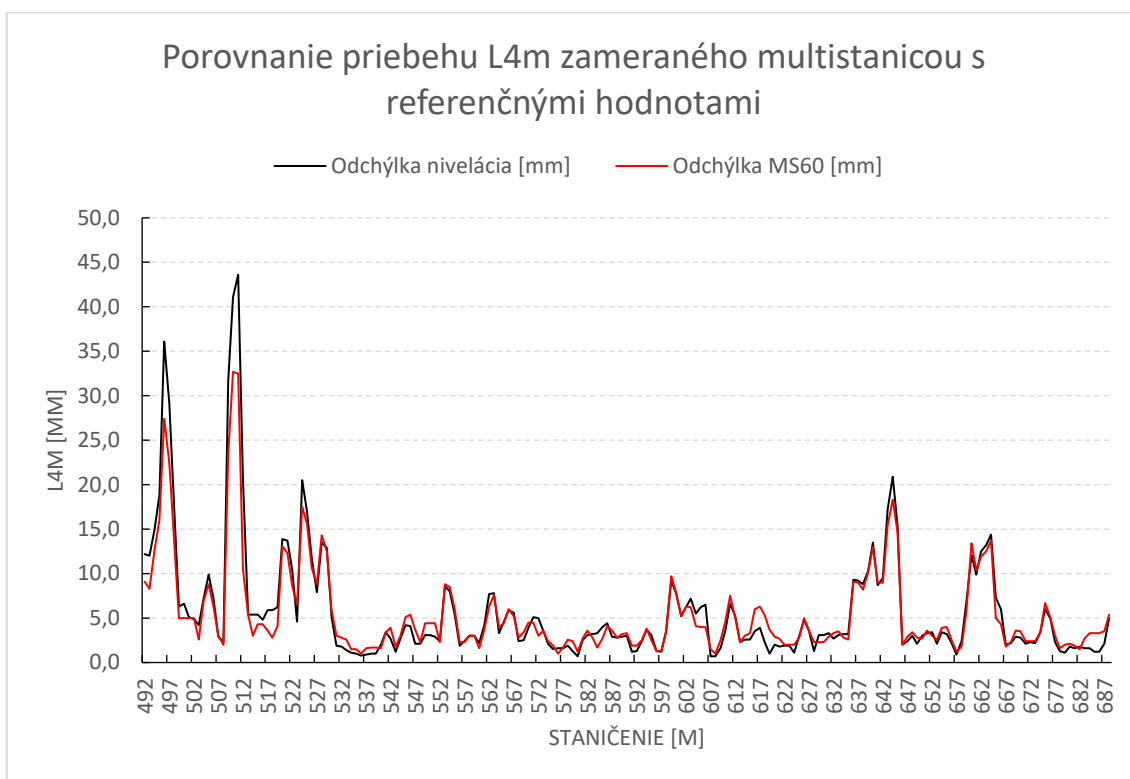
Parameter L4m







Príloha č. 6: Parameter L4m



Príloha č. 7

Parameter L2m

Príloha 6 – Parameter L2m

PF490	referenčný		
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	2a [mm]	Vzdialenosť dotykových bodov [m]
-2,00	0,00	4,0	1,50
-1,75	0,25	5,7	1,75
-1,50	0,50	5,7	1,75

PF510	referenčný		
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	2a [mm]	Vzdialenosť dotykových bodov [m]
-2,00	0,00	4,3	0,75
-1,75	0,25	1,0	0,50
-1,50	0,50	3,3	0,75

PF530	referenčný		
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	2a [mm]	Vzdialenosť dotykových bodov [m]
-2,00	0,00	1,4	1,25
-1,75	0,25	1,4	1,25
-1,50	0,50	1,6	2,00
-1,25	0,75	1,0	1,50

PF550	referenčný		
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	2a [mm]	Vzdialenosť dotykových bodov [m]
-2,00	0,00	6,1	1,75
-1,75	0,25	5,7	1,50
-1,50	0,50	5,4	2,00
-1,25	0,75	4,6	1,75

Príloha 6 – Parameter L2m

PF570	referenčný		
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	2a [mm]	Vzdialenosť dotykových bodov [m]
-2,00	0,00	3,8	1,25
-1,75	0,25	3,8	1,25
-1,50	0,50	2,0	1,00
-1,25	0,75	2,0	1,00

PF590	referenčný		
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	2a [mm]	Vzdialenosť dotykových bodov [m]
-2,00	0,00	2,7	0,75
-1,75	0,25	3,0	0,75
-1,50	0,50	3,2	1,00
-1,25	0,75	3,2	1,00

PF610	referenčný		
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	2a [mm]	Vzdialenosť dotykových bodov [m]
-2,00	0,00	6,0	1,50
-1,75	0,25	6,0	1,50
-1,50	0,50	4,6	1,25
-1,25	0,75	3,5	1,00

PF630	referenčný		
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	2a [mm]	Vzdialenosť dotykových bodov [m]
-2,00	0,00	3,8	1,25
-1,75	0,25	3,8	1,25
-1,50	0,50	4,5	1,00
-1,25	0,75	6,2	1,25

Príloha 6 – Parameter L2m

PF650	referenčný		
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	2a [mm]	Vzdialenosť dotykových bodov [m]
-2,00	0,00	3,0	1,00
-1,75	0,25	4,6	1,25
-1,50	0,50	6,5	1,50
-1,25	0,75	8,6	2,00

PF670	referenčný		
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	2a [mm]	Vzdialenosť dotykových bodov [m]
-2,00	0,00	5,0	0,50
-1,75	0,25	7,0	0,75
-1,50	0,50	8,0	1,00
-1,25	0,75	8,0	1,00

PF690	referenčný		
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	2a [mm]	Vzdialenosť dotykových bodov [m]
-2,00	0,00	5,0	1,50
-1,75	0,25	3,7	1,00
-1,50	0,50	3,3	0,75
-1,25	0,75	4,3	0,75

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného statickým skenerom s referenčnými hodnotami – PF490				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	FARO - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	4,0		
-1,75	0,25	5,7	6,0	-0,3
-1,50	0,50	5,7	6,0	-0,3

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného statickým skenerom s referenčnými hodnotami – PF510				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	FARO - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	4,3	9,0	-4,7
-1,75	0,25	1,0	3,5	-2,5
-1,50	0,50	3,3	3,5	-0,2

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného statickým skenerom s referenčnými hodnotami – PF530				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	FARO - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	1,4	1,9	-0,5
-1,75	0,25	1,4	2,0	-0,6
-1,50	0,50	1,6	1,6	0,0
-1,25	0,75	1,0	1,0	0,0

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného statickým skenerom s referenčnými hodnotami – PF550				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	FARO - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	6,1	4,9	1,2
-1,75	0,25	5,7	4,4	1,3
-1,50	0,50	5,4	4,1	1,3
-1,25	0,75	4,6	3,9	0,7

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného statickým skenerom s referenčnými hodnotami – PF570				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	FARO - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	3,8	4,2	-0,4
-1,75	0,25	3,8	4,2	-0,4
-1,50	0,50	2,0	2,5	-0,5
-1,25	0,75	2,0	2,5	-0,5

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného statickým skenerom s referenčnými hodnotami – PF590				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	FARO - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	2,7	3,7	-1,0
-1,75	0,25	3,0	3,8	-0,8
-1,50	0,50	3,2	3,8	-0,6
-1,25	0,75	3,2	4,7	-1,5

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného statickým skenerom s referenčnými hodnotami – PF610				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	FARO - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	6,0	7,0	-1,0
-1,75	0,25	6,0	6,3	-0,3
-1,50	0,50	4,6	5,8	-1,2
-1,25	0,75	3,5	4,3	-0,8

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného statickým skenerom s referenčnými hodnotami – PF630				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	FARO - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	3,8		
-1,75	0,25	3,8	5,0	-1,2
-1,50	0,50	4,5	4,0	0,5
-1,25	0,75	6,2	5,2	1,0

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného statickým skenerom s referenčnými hodnotami – PF650				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	FARO - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	3,0	2,7	0,3
-1,75	0,25	4,6	4,4	0,2
-1,50	0,50	6,5	7,3	-0,8
-1,25	0,75	8,6	9,0	-0,4

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného statickým skenerom s referenčnými hodnotami – PF670				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	FARO - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	5,0	4,5	0,5
-1,75	0,25	7,0	7,0	0,0
-1,50	0,50	8,0	8,0	0,0
-1,25	0,75	8,0	8,0	0,0

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného statickým skenerom s referenčnými hodnotami – PF690				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	FARO - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	5,0	5,4	-0,4
-1,75	0,25	3,7	5,0	-1,3
-1,50	0,50	3,3	3,7	-0,4
-1,25	0,75	4,3	4,0	0,3

Príloha 6 – Parameter L2m

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného multistanicou s referenčnými hodnotami - PF490				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	MS60 - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	4,0	5,5	-1,5
-1,75	0,25	5,7	6,9	-1,2
-1,50	0,50	5,7		

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného multistanicou s referenčnými hodnotami - PF510				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	MS60 - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	4,3	4,6	-0,3
-1,75	0,25	1,0		
-1,50	0,50	3,3		

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného multistanicou s referenčnými hodnotami - PF530				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	MS60 - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	1,4	1,0	0,4
-1,75	0,25	1,4	1,0	0,4
-1,50	0,50	1,6	1,0	0,6
-1,25	0,75	1,0	1,0	0,0

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného multistanicou s referenčnými hodnotami - PF550				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	MS60 - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	6,1	5,3	0,8
-1,75	0,25	5,7	5,0	0,7
-1,50	0,50	5,4	4,2	1,2
-1,25	0,75	4,6	4,0	0,6

Príloha 6 – Parameter L2m

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného multistanicou s referenčnými hodnotami - PF570				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	MS60 - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	3,8		
-1,75	0,25	3,8	4,6	-0,8
-1,50	0,50	2,0	2,5	-0,5
-1,25	0,75	2,0	2,8	-0,8

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného multistanicou s referenčnými hodnotami - PF590				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	MS60 - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	2,7	3,0	-0,3
-1,75	0,25	3,0	3,4	-0,4
-1,50	0,50	3,2		
-1,25	0,75	3,2		

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného multistanicou s referenčnými hodnotami - PF610				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	MS60 - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	6,0	6,3	-0,3
-1,75	0,25	6,0	6,3	-0,3
-1,50	0,50	4,6	5,4	-0,8
-1,25	0,75	3,5	4,3	-0,8

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného multistanicou s referenčnými hodnotami - PF630				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	MS60 - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	3,8		
-1,75	0,25	3,8	2,6	1,2
-1,50	0,50	4,5	2,5	2,0
-1,25	0,75	6,2	3,2	3,0

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného multistanicou s referenčnými hodnotami - PF650				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	MS60 - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	3,0	1,2	1,8
-1,75	0,25	4,6	3,0	1,6
-1,50	0,50	6,5	6,7	-0,2
-1,25	0,75	8,6	8,6	0,0

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného multistanicou s referenčnými hodnotami - PF670				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	MS60 - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	5,0	0,5	4,5
-1,75	0,25	7,0	4,0	3,0
-1,50	0,50	8,0	6,5	1,5
-1,25	0,75	8,0	6,5	1,5

Porovnanie hodnôt parametru L2m zameraného multistanicou s referenčnými hodnotami - PF690				
Počiatkové staničenie	Koncové staničenie	Dipstick - 2a [mm]	MS60 - 2a [mm]	Rozdiel [mm]
-2,00	0,00	5,0	5,8	-0,8
-1,75	0,25	3,7	4,7	-1,0
-1,50	0,50	3,3	4,0	-0,7
-1,25	0,75	4,3	3,3	1,0